

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ **В.П. Розен**

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності (спеціалізації) 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів

(код і назва спеціальності)

на тему: «Система автоматичного керування електроприводом прохідницького щита»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОА-91мп

(шифр групи)

_____ **Борщ Андрій Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач Прядко С.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проект к.т.н., доц., Шевчук Н.А.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Борщ Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема дисертації система автоматичного керування електроприводом прохідницького щита.

науковий керівник дисертації Прядко С.Л., ст. викладач _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «04» 11 2019 р. № 3814-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2019

3. **Об'єкт дослідження:** процеси керування прохідницького щита за допомогою системи диспетчеризації.

4. **Предмет дослідження** магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою-система передачі даних та керуючих сигналів з нижнього рівня на верхній рівень АСУ ТП.

Вихідні дані –потужністю двигунів $P_d = 160$ кВт; напругою живлення $U_{ж} = 400$ В

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

5.1 Визначити характеристики та оптимальні параметри для проектного прохідницького щита.

5.2 Підібрати для нижнього (локального) рівня АСУ ТП відповідну систему автоматизованого керування процесами.

5.3 Розробити відносно локального рівня АСУ ТП систему диспетчеризації, яка надає змогу моніторингу та керування процесами в режимі «online».

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Дата видачі завдання: 01.10.2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вибір і затвердження теми.	01.10.2019	
2	Підбір і ознайомлення з літературою.	3 02.10 до 12.10	
3	Складання плану, розробка індивідуального завдання на магістерську дисертацію та календарного плану виконання магістерської дисертації	3 13.10 до 18.10	
4	Поглиблене вивчення літературних джерел і написання теоретичної частини магістерської дипломної роботи.	3 19.10 до 10.11	
5	Збір і аналітична обробка статистичних матеріалів з теми дослідження.	3 10.11 до 11.10	
6	Написання магістерської дисертації та її оформлення.	3 11.10 до 02.12	
7	Моделювання системи регулювання параметрів прохідницького щита	15.11 до 2.12	
8	Розробка стартапу	20.11 до 30.11	
9	Відгук наукового керівника на магістерську дипломну роботу.	03.12	
10	Подання магістерської дисертації в ЕК та її захист.	9.12. до 10.12.2019	

Студент

(підпис)

Борщ А.О.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Прядко С.Л.
(ініціали, прізвище)

Анотація

Магістерська дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновку та переліку використаної літератури (119 сторінки машинописного тексту, 25 рисунка, 11 таблиць, 11 формул, 40 використаних джерел).

На сьогоднішній день прохідницькі щити є невід'ємною частиною прокладання підземних тунелів в гірних масивах. Тому все більш актуальним постає питання розробки ефективної функціональної системи управління параметрами і режимами його роботи, що забезпечує автоматизацію технологічного процесу проходки і нормальні ергономічні умови праці оператора комплексу, отримання позитивного економічного ефекту (зменшення споживання електроенергії). Для цього об'єкт необхідно автоматизувати та раціонально керувати ним. Здійснювати моніторинг та керування за допомогою диспетчеризації, що в свою чергу сприятиме покращенню параметрів енергоефективності прохідницького щита.

Метою дисертації є розробка системи контролю та моніторингу параметрів енергоефективності проходки тунелів.

Об'єкт дослідження – процеси керування проходження щита за допомогою системи диспетчеризації.

Предмет дослідження – система передачі даних та керуючих сигналів з нижнього рівня на верхній рівень АСУ ТП.

В дисертації було проведено визначення характеристик та оптимальних параметрів для проектного прохідницького щита. Підібрано для нижнього(локального) рівня відповідну систему автоматизованого керування процесами. Проведено розробку відносно локального рівня систему диспетчеризації, яка надає змогу моніторингу та керування процесами в режимі «online». Розроблено стартап-проект застосування мікроконтроллера

Ключові слова: Енергозбереження, прохідницький щит, регулювання частоти, двигун постійного струму, система керування

Аннотация

Магистерская диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы (119 страницы машинописного текста, 25 рисунка, 11 таблиц, 11 формул, 40 использованных источников).

На сегодняшний день прохидницьки щиты являются неотъемлемой частью прокладки подземных тоннелей в горнорудных массивах. Поэтому все более актуальным становится вопрос разработки эффективной функциональной системы управления параметрами и режимами его работы, что обеспечивает автоматизацию технологического процесса проходки и нормальные эргономичные условия труда оператора комплекса, получение положительного экономического эффекта (уменьшение потребления электроэнергии). Для этого объект необходимо автоматизировать и рационально управлять им. Осуществлять мониторинг и управление с помощью диспетчеризации, что в свою очередь будет способствовать улучшению параметров энергоэффективности прохидницького щита.

Целью диссертации является разработка системы контроля и мониторинга параметров энергоэффективности проходки тоннелей.

Объект исследования - процессы управления прохождения щита с помощью системы диспетчеризации.

Предмет исследования - система передачи данных и управляющих сигналов с нижнего уровня на верхний уровень АСУ ТП.

В диссертации было проведено определение характеристик и оптимальных параметров для проектного прохидницького щита. Подобрано для нижнего (локального) уровня соответствующую систему автоматизированного управления процессами. Проведена разработка относительно локального уровня систему диспетчеризации, которая дает возможность мониторинга и управления процессами в режиме «online». Разработан стартап-проект применения микроконтроллера

Ключевые слова: Энергосбережение, проходческий щит, регулирования частоты, двигатель постоянного тока, система управления

Summary

Summary

The master's dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of references (119 pages of typewritten text, 25 figures, 11 tables, 11 formulas, 40 sources used).

Today, tunneling shields are an integral part of laying underground tunnels in the mountains. Therefore, the issue of developing an effective functional control system for the parameters and modes of its operation is becoming increasingly important, which provides automation of the technological process of drilling and normal ergonomic working conditions of the operator of the complex, obtaining a positive economic effect (reduction of electricity consumption). To do this, the object must be automated and rationally managed. Monitor and control with scheduling, which in turn will improve the energy efficiency of the tunnel shield.

The purpose of the dissertation is to develop a system of control and monitoring of energy efficiency parameters of tunneling.

The object of study - the processes of control of the passage of the shield using a scheduling system.

The subject of research - the system of data transmission and control signals from the lower level to the upper level of the ACS TP.

In the dissertation the characteristics and optimal parameters for the design tunnel shield were determined. The appropriate system of automated process control is selected for the lower (local) level. A dispatching system has been developed at the local level, which allows monitoring and managing processes online. A startup project for the use of a microcontroller has been developed

Keywords: Energy saving, tunnel shield, frequency control, DC motor, control system

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ

Г-Д - генератор постійного струму

ТП-Д - керований тиристорний перетворювач;

ШП- Д - широтно-імпульсний перетворювач

САР – система автоматичного регулювання;

ЕРС – Електрорушійна сила

Зміст

Вступ.....	
1. Загальна частина.....	
1.2 Умови гірничо - технічні та інженерно – геологічні	
1.3 Комплексна механізація робіт при спорудженні тунелів метрополітенів...	
1.4 Прохідницькі щити і комбайни.....	
2 Автоматизація прохідницького комплексу.....	
2.1 Моделі критеріїв якості процесу буріння.....	
2.1.2 Методи оптимізації процесу буріння.....	
2.1.3 Функціональні схеми і програми робіт системи керування.....	
2.2 Технічні засоби керування процесом буріння.....	
2.2.1 Вузли й елементи систем керування.....	
2.3. Показники і перспективи застосування систем керування.....	
2.3.1. Показники систем керування бурінням.....	
2.3.2. Перспективи застосування і розвитку систем керування прохідницького щита.....	
3 Спеціальна частина.....	
3.1 Призначення і область використання прохідницьких комплексів.....	
3.2 Характеристика прохідницького щита.....	
3.3 Привод механізованого щита.....	
3.4 Розрахунок елементів електроприводу.....	

3.4.1	Вибір і перевірка двигунів привода обертання ротора.....	
3.4.2	Визначення моменту на валу робочого органа.....	
3.4.3	Визначення приведенного моменту інерції установки на валу двигуна...	
3.4.2	Розрахунок і вибір обладнання привода.....	
3.4.3	Структурна схема розімкнутої системи.....	
3.4.4	Вибір датчика швидкості і струму.....	
3.5	Розрахунок системи підлеглого керування.....	
3.5.1	Розрахунок параметрів регулятора струму.....	
3.5.2	Розрахунок параметрів регулятора швидкості.....	
3.5.3	Вибір параметрів задавального пристрою.....	
3.6	Побудова характеристик системи.....	
3.6.1	Побудова статичної характеристики розімкнутої системи.....	
3.6.2	Побудова статичної характеристики замкнутої системи ТП-Д.....	
3.7	Визначення електроенергетичних показників.....	
3.8	Робота електричної принципової схеми привода обертання ротора.....	
3.8.1	Регулятори систем керування.....	
3.8.2	Шафа автоматизації керування прохідницького щита.....	
3.9	Налагодження і технічне обслуговування системи керування.....	
4.	Стартап-проект застосування мікроконтролера mikroel ms 585 для контролю та регулювання параметрів двигуна постійного струму.	

4.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту	
4.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту	
4.3 Аналіз конкурентного середовища.....	
4.4Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту.....	
4.5Прямі матеріальні витрати.....	
4.6 Інші прямі витрати.....	
4.7. Обґрунтування прямих інших витрат.....	
4.8 Розрахунок собівартості та рентабельності товару.....	
4.9 Канали збуту.....	
4.10 Бізнес-модель проекту.....	
4.11 Термін окупності стартап-проекту та висновки.....	
Література.....	

ВСТУП

Прискорення темпів зростання обсягів будівництва і освоєння підземного простору обумовлюють необхідність підвищення точності проходження тунелів і інженерних комунікацій в умовах щільної міської забудови. Значною мірою цим вимогам задовольняють щитові тунелепрохідницькі комплекси (ТПК) з виконавчим органом роторного типу, що дозволяють безпечно прокладати тунелі на великі відстані під міськими масивами, річками, будівлями і спорудами, а високотехнологічні високоточні прилади дозволяють здійснювати ведення прохідницького щита до мети по заданій траєкторії. Однак відсутність високоточних систем управління рухом виконавчих органів таких машин не дозволяє забезпечити високу точність дотримання траєкторії руху з урахуванням особливостей гірничо-геологічних умов при проходженні виробки тунелю, що призводить до низької ефективності роботи тунелепрохідницького комплексу

Важливими елементами підземного будівництва є тунелі (метрополітену, автодорожні, залізничні, комунальні та спеціальні тунелі), що представляють собою протяжні підземні виробки, що закріплюються по периферії, як правило, обробленням замкнутого обриси. З огляду на все більш зростаючу потребу в будівництві тунелів, посилилася робота по створенню і виготовленню тунелепрохідницького механізованого комплексу.

1 СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТУНЕЛЕПРОХІДНИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

Метрополітен - міська підземна залізниця, один із видів міського транспорту. Метро має дуже велику пропускну здатність (до 50 тисяч пасажирів за годину в одному з напрямків), регулярністю руху потягів (інтервал руху в середньому 1 - 3 хв.) та також великою швидкістю (звичайно в середньому 44 - 47 км/годину) .

Лінії метрополітену прокладаються звичайно в тунелях (при неглибокому будівництві - на глибині до 15 метрів від рівня землі -; при глибокому -130 - 160 метрів), рідко, але також будуються - на естакадах та на поверхні землі.

До найбільш складних споруджень у метрополітені належать станції: з острівними або бічними пасажирськими платформами; підземні і надземні; проміжні; зонні і кінцеві; пересадні, а також із платформами обох видів.

Основні технічні засоби метрополітену: залізнична колія, рухомий склад (потяг з п'яти вагонів, місткість вагона до 270-280 чоловік), автомати регулювання швидкості диспетчерської централізації й автоблокування, кабельна і контактна мережа, пристрої сигналізації. Крім того, у метрополітен входять депо, тягово - понижуючі підстанції, дренажні й освітлювальні пристосування і вентиляційні т.д.

На Україні проектують метрополітен і будують відповідно до генеральних планів міста, будівництво ведеться індустріальними методами при комплексній механізації основних робіт з використанням тоннельних прохідницьких щитів і блокоукладачів, конструкції тоннельних споруджень виготовляють зі металевих елементів та збірних залізобетонних (тубінгів), залізобетону та також монолітного бетону.

Метрополітен зазвичай споруджують в містах з населенням більше одного мільйона чоловік, що дає змогу вирішувати транспортну проблему.

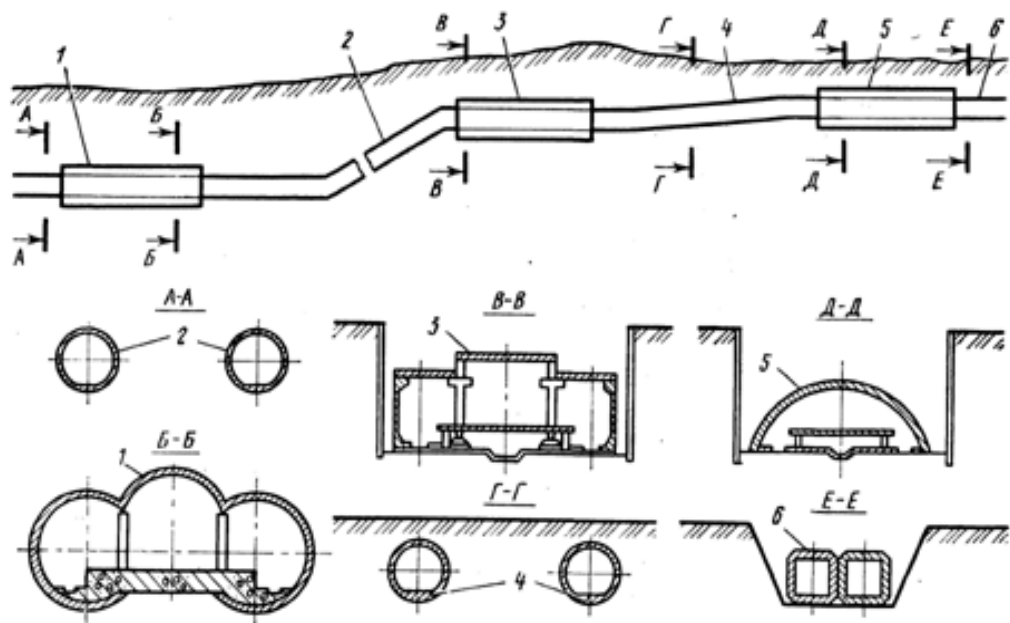


Рис. 1.1- Способи різних схем спорудження метрополітену:

1 і 2 - станція глибокого закладення і перегінні тунелі, які споруджуються закритим способом; 3 і 5 - станції дрібного закладення, які споруджуються відкритим способом, 4 - перегінні тунелі дрібні закладення, які споруджуються закритим способом; 6 - перегінні тунелі дрібного закладення, які споруджуються відкритим способом.

У метрополітенні лінійні комплекси входять наступні спорудження (рис. 1.2): станції, депо, тупики, естакади перегінні тунелі, земляна полотнина (насипи і виїмки для наземних ліній), мости, інженерний корпус метрополітену, шляхопроводи, камери з'їздів, сполучні службові тунелі.

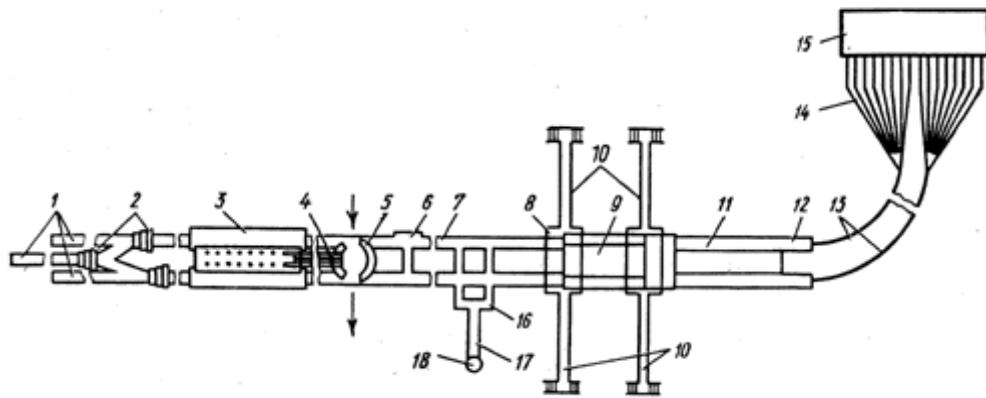


Рис. 1.2 - Схема розташування споруджень на ділянці лінії метрополітену:

1 - тупик; 2 - камери з'їзду на глибокому закладенні; 3 - станція метрополітену глибокого закладення; 4 - похилий ескалаторний тоннель; 5 - наземний вестибюль станції; 6 - санвузол із дренажним перекачуванням; 7 - перегінні тунелі; 8 - підземний вестибюль станції дрібного закладення; 9 - станція дрібного закладення; 10 - підвуличні переходи зі сходами і входами у вестибюль; 11 - камера з'їзду за станцією на дрібному закладенні; 12 - ділянки переходу перегінних тунелів від дрібного закладення до виходу на поверхню; 13 - вихідні шляхи з тунелів; 14 - деповські колії на поверхні; 15 - депо метрополітену; 16 - вентиляційні збійки- 17 - вентиляційний (підхідний) тоннель; 18 - вентиляційний стовбур.

По розташуванню і числу платформ станції поділяють на три типи: одноплатформні (з одною острівний, тобто середньої, платформою), двоплатформні (із двома бічними платформами) і тріхплатформні (із середньої - острівний - і двома бічними платформами).

По висотному розташуванню і способам будівництва станції поділяють на чотири типи: підземні (споруджена закритим способом), підземні дрібного закладення (споруджена відкритим способом у котлованах), наземні і надземні (споруджуються на естакадах). На станціях підземних глибокого закладення для спуска і підйому пасажирів використовують ескалатори, які монтують у похилих

тунелях, що з'єднують вестибуль і станцію. На станціях дрібного закладення при різниці оцінок між платформою і вестибулем до 4,5 м улаштовують сходи, а при більшій різниці - ескалатори.

Тунелі, естакади, шляхопроводи, земляна полотнина служать для прокладки шляхів метрополітену і руху потягів між станціями. Тунелі метрополітенів будують одне- або двоколійними. Для переходу від двоколійної ділянки до двох одноколійних ділянок споруджують спеціальні камери - розтруби. На естакадах, шляхопроводах, насипах і у виїмках прокладають відразу два шляхи.

Камери з'їзду призначені для з'єднання двох перегінних тунелів. У камерах з'їзду укладають стрілочні переводи (з'їзди) для переходу потяга з одного шляху на інший.

Пристрої камери з'їздів у двоколійних тунелях, на естакадах і наземних лініях не потрібно змінювати конструкції цих споруджень. При розташуванні шляхів у двох одноколійних тунелях у місцях пристрою з'їзду необхідно влаштовувати спеціальний сполучний тунель. На ділянках укладання стрілочного перевodu в одноколійному тунелі і примикання сполучного тунеля роблять східчасті розширення шляхом спорудження різної довжини коротких тунелів (камер), поступово збільшуючи проліт ширини. Остання камера має ширину, що відповідає ширині перегінного і сполучного тунелів.

Тупики споруджують на кінцевих станціях метрополітену для пристрою тупикових колій, призначених для перекладу потягів з одного шляху на інший, а також для огляду і відстою складів. На підземних лініях улаштовують тупикові тунелі, з'єднані з головними шляхами камерами з'їздів.

Електродепо призначені для нічного відстою рухливого складу (вагонів), їхнього огляду, проведення технічного обслуговування і ремонту. До складу електродепо, крім цехів і приміщень, призначених для проведення зазначених

робіт, входять виробничі майстерні, камери для мийки й обдування вагонів, компресорна станція: паркові шляхи, адміністративно-побутовий корпус і ін.

Інженерний корпус метрополітену є центром керування рухом потягів і роботою всіх технологічних установок (електротехнічних, зв'язки й автоматики, сантехнічних і ін.), що забезпечують роботу метрополітену. Інженерний корпус оснащується різним устаткуванням і пристроями. У ньому також розміщаються керування метрополітену й апарат різних служб.

До технологічних пристроїв метрополітену відносяться: рейковий шлях; контактна рейка; електротехнічні пристрої (електропідстанції, кабелі різного призначення, освітлення, різні силові установки); пристрою автоматики і телемеханіки; пристрою сигналізації і зв'язку; санітарно-технічні пристрої, що забезпечують вентиляцію, теплопостачання, водопостачання, водовідвід і каналізацію.

Електроенергія для руху потягів і постійного устаткування метрополітену подається від тягово-знижувальних підстанцій, що перетворюють змінний струм напругою 6-10 кВ, одержуваний від міських електричних підстанцій, у постійний напругою 825 В для руху потягів, а також знижують напруга змінного струму до 380 В, що необхідно для інших споживачів енергії на метрополітені.

До потягів метрополітену подача електричного струму здійснюється не по проводу, як на наземних електричних залізницях і трамваїв, а по спеціальному металевому контактному ("третій") рейці, яка встановлюється у нижній частині тунеля поруч зі шляхом. При русі потяга метрополітену по нижній крайці контактної рейки ковзає вагонний струмоприймач.

Питома вага Київського метрополітену в загальних перевезеннях міського транспорту складає 30%.

1.2 Умови гірничо - технічні та інженерно - геологічні

Гідрологічна обстановка характеризується наявністю тимчасових водостоків, що протікають у днищах балок і ярів

У геоморфологічному відношенні територія міста Києва входить в область розвитку північних схилів Придніпровської (Правобережної) височини, що переходять у Поліську і Придніпровську низовини.

У дипломному проекті використовується траса метрополітену, що перетинає моренозандрову підлідникову акумуляторну рівнину, ускладнену яро - балковими формами рель'єфу. Абсолютні оцінки поверхні по трасі в межах від 162.0 до 178.0 м.

Робочі інструменти прохідницьких щитів

Актуальність проблеми. В даний час відзначається значний прогрес в технології щитової проходки тунелів, успішно конкурує з гірським і буро-вибуховим методом. Нові тунелепрохідницькі агрегати з роторним робочим органом, в т.ч. з активним привантаженням, помітно розширили сферу застосування щитової техніки. Властива тунелепрохідні комплекси механічна розробка забою спеціальним породоразрушаючим інструментом (особливо шарошечним) є визначальним фактором їх конкурентоспроможності та досягнення високих виробничих показників. Збройні шарошками і різцями, такі щити істотно підвищили свою універсальність. У той же час обґрунтування використання механізованих щитів і комплексів робиться зазвичай за якісними ознаками, так як відсутні методи розрахунків кількісних оцінок їх механічних і технологічних показників при експлуатації. Як відомо, на останні сильно впливають неперервно changing geotechnical conditions of tunneling

Робочі інструменти прохідницьких щитів розраховані на те, щоб впливати на забій методами різання, вдавнення або ж комбінованим способом. Вдавлювання застосовується в сипучих, мулистих і глинистих ґрунтах, які іменуються також м'якопластичного.

Вдавлювання здійснює головна частина ТМПК. Тут знаходяться ножові кільця, ріжучі смуги (горизонтальні або похилі) і закінчують діафрагми. Через них порода потрапляє всередину щита. Відбір ґрунту виконують гідроелеватори або ж спеціальні земленасосні установки.

У деяких випадках розробка забою здійснюється за допомогою водяного струменя. Сам прохідницький щит може працювати як поступально, так і обертатися.

Щоб зрозуміти, як влаштована щитова проходка для метро, погляньте на схему.

Щитової прохідницький комплекс з гідропрігрузом

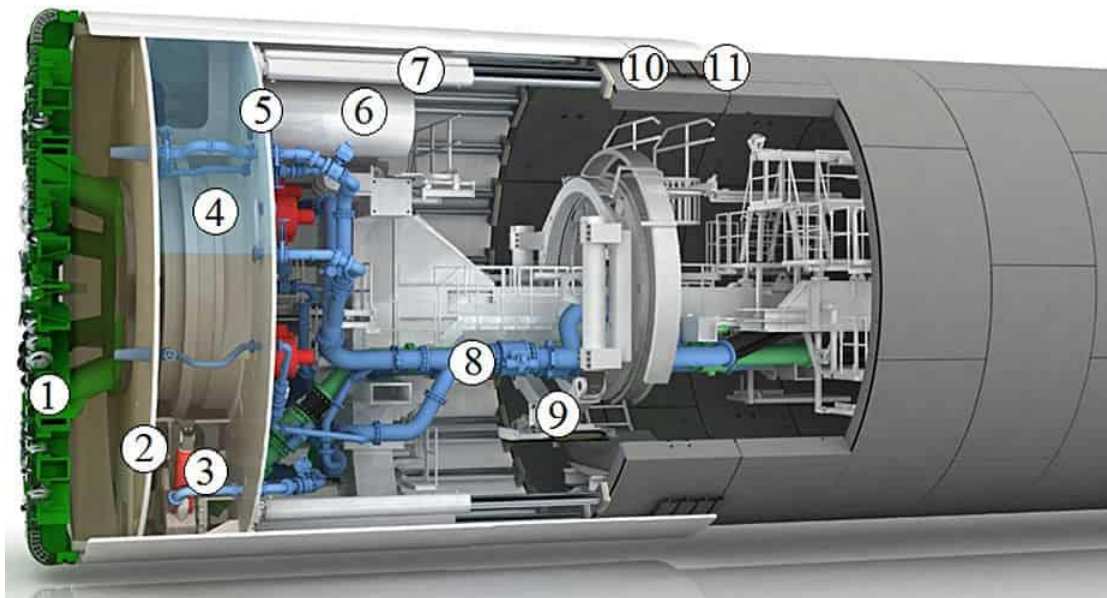


Рис.1.3 Влаштування прохідницького щита

1 – робочий орган щита; 2 – призабійна стіна; 3 – камнедробилка; 4 – кессонна камера; 5 – герметична діафрагма; 6 – декомпресійна камера; 7 – домкрати; 8 – трубопровід подачі суспензії; 9 – блокоукладчик; 10 – щітки герметизації; 11 – кільцевий зазор (заповнюється розтвором).

Щитової прохідницький комплекс з ґрунтопрігрузом

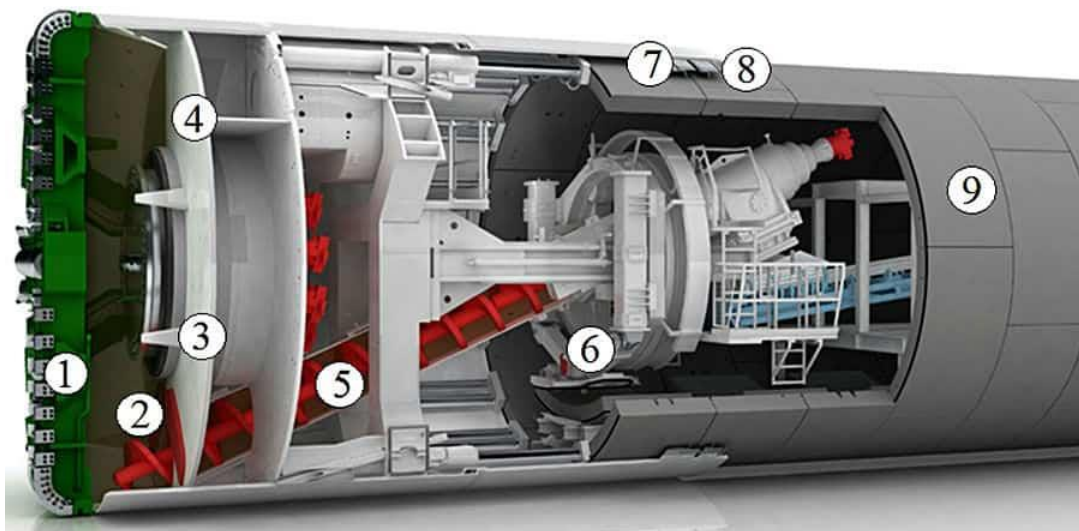


Рис 1.4 Робочі інструменти прохідницького щита

1 – робочий орган щита; 2 – герметична призабійна камера; 3 – переборки для перемішування породи; 4 – перегородка призабійної камери; 5 – винтовий конвеєр; 6 – блокоукладчик; 7 – щітки герметизації; 8 – кільцевий зазор (заповнюється раствором); 9 – блочна обробка.

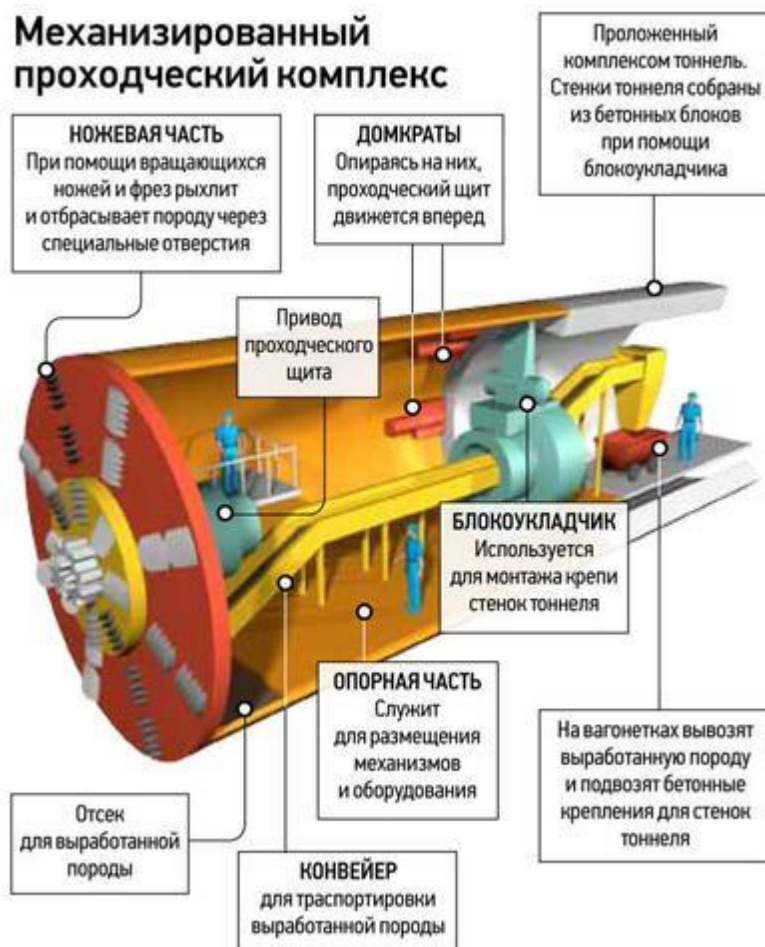
Виробники прохідницьких щитів



Рис 1.5 Прохідницький щит

Десятки заводів на планеті випускають промислове обладнання, включаючи прохідницькі щити, мембранні насоси, запчастини. Назвемо ряд відомих виробників обладнання для метробуду.

- LOVAT (Канада). Фірма НЕ тільки продає машини, а й відновлює обладнання.
- • Wirth и Herrenknecht AG (Німеччина). «Херренкнехт» поставляє прохідницькі щити в Різні країни, для всіх типів ґрунтів.
- • Robbins (США).
- • Hitachi, Ltd (Японія). Засновано в 1976 году. Виконаю Величезне Кількість замовлень.
- • показників при експлуатації. Як відомо, на останні сильно впливають безупинно мінливі геотехнічні умови проходки



1.3 Комплексна механізація робіт при спорудженні тунелів метрополітенів

У метробудівництві, як і в інших галузях будівництва, застосовують часткову і комплексну механізацію. В умовах часткової механізації машини і механізми застосовуються при виконанні головним чином найбільш важких і трудомістких робіт, при цьому частка ручної праці залишається істотною. При комплексній механізації основні і допоміжні виробничі процеси технологічного циклу механізовані, а частка ручної праці відносно невисока.

Комплексна механізація здійснюється на основі раціонального підбора машин і устаткування, що забезпечує їхню роботу у взаємно погоджених режимах, ув'язаних по продуктивності й умовам найкращого виконання технологічного процесу.

Комплекси прохідницького устаткування вибирають і встановлюють з урахуванням виробничих умов, у яких повинні працювати послідовно з'єднані технологічні машини, що складають комплекс. Основна вимога до комплексу устаткування - забезпечити безпечне виконання робіт у визначених умовах заданими темпами при найменшій трудомісткості і вартості.

У складі комплексу виділяють головну (ведучу) машину, технічні можливості якої визначають продуктивність комплексу і темп провадження робіт. Як правило, головними машинами прохідницького комплексу є щити (переважно механізовані), рідше їхню роль грають укладальники оброблення. Крім головної машини, до складу комплексу входять комплектуючі механізми (пристрої) для зведення оброблення, навантаження розробленої породи в транспортні засоби, подачі матеріалів до щита, нагнітання розчину за оброблення і разминовки транспортних засобів. По довжині тунеля такі прохідницькі комплекси мають довжина до 60 м.

Сучасні механізовані щитові прохідницькі комплекси є найбільш ефективним засобом комплексної механізації виробничих процесів при спорудженні тунелів у різних інженерно-геологічних умовах. Застосування цих комплексів виключає безпосередній контакт робітника з вибоєм, цілком механізує процеси розробки, навантаження і транспортування породи, забезпечує високі швидкості проходки.

На будівництві метрополітенів у нашій країні використовують кілька типів прохідницьких комплексів.

Комплекс Км-НГп із гідроприводом (і комплекс КМ-14А з електроприводом) містить у собі укладальник обробки, візок для нагнітання з рухливою платформою. Комплекс призначений для проходки перегінних тунелів зі збірною обробкою у стійких ґрунтах (без щита).

Частково механізований комплекс КМ-22 (КМ-34), що включає в себе щит ЩН-1х (ЩН-1с), укладальник обробки, візка для нагнітання і рухливу платформу, забезпечує проходку перегінних тунелів зі збірною обробкою у ґрунтах середньої міцності.

До складу механізованого комплексу КТ 1-5,6 входить щит такої ж марки, конвеєрний укладальник обробки, транспортний міст і технологічна платформа. Комплекс призначений для проходки перегінних тунелів зі збірною обробкою (у тому числі залізобетонної, що обжимається в ґрунт) у сухих глинах.

Механізований комплекс КТ5, 6Д2 містить у собі щит такої ж марки зі змінними робочими (виконавчими) органами виборчої дії і засобами утримання вибою (висувними шандорами), щелепну навантажувальну машину, укладальник елементів обробки, пристрій для обтиснення збірної обробки, транспортний міст, рольганг, технологічні платформи й устаткування для нагнітання розчину за обробку. Комплекс застосовують для проходки перегінних

тунелів зі збірною обробкою у змішаних ґрунтах (пісках, супесях, суглинках, глинах звичайних і твердих типу вапняків).

У механізований комплекс ТЩБ-7 входять щит ЩБ-7, секційна металева опалубка і самохідний механізм для її перестановки, що пресує кільце, транспортний міст, пересувна платформа, пневмобетоноподатчики і бетоновводи. Комплекс призначений для проходки перегінних тунелів з монолитно-пресованої бетонною обробкою у пісках природної вологості.

При роботі щитів і блокоукладчиків необхідно строго дотримувати вимоги, установлені правилами безпеки. Пересування щитів і укладальників обробки роблять під керівництвом осіб технічного нагляду і присутності маркшейдера. Під час пересування укладальника перебування під ним людей не допускається. Знаходитися між вибоєм (щитом) і укладальником під час підйому тюбінга або блоку заборонено. При укладанні лоткових тюбінгів (блоків) не можна стояти біля торця встановленого тюбінга (блоку) і направляти встановлюваний. Не дозволяється очищати рукою торцеву або фланцеву поверхню при підведеному для установки тюбінгу (блоці). При наявності переносних кронштейнів під рейкові опори для пересувки укладальника на ковзанках (колесах) вони повинні бути встановлені на кожному кільці обробки по обидва боки тунеля і міцно закріплені. На всіх кінцях рейкових опор повинні стояти упори. Забороняється знімати важіль (руку) укладальника з тюбінга до установки його на місце і міцне закріплення не менш чим на три болти.

Пилоподавляючі або пиловловлюючі пристрої включають у роботу до пуску робочого органа щита.

Монтаж збірної обробки з наступним обтисненням її в породу виконують під захистом хвостової частини оболонки щита.

У випадку зупинки щита не можна залишати кільця обробки в необтисненому стані за межами оболонки. У процесі обтиснення кільця обробки в породу перебування людей у межах кільця, що обжимається, заборонено.

У зонах дії фрезерного або екскаваторного робочого органа, навантажувальної машини, висувних площадок і балок при їхньому переміщенні, рольганга, крана-перевантажувача не повинні знаходитися люди.

У зоні прохідницького комплексу для проходу до щита улаштовані з лівої і правої сторони трапи і сходи.

Сучасні щитові комплекси забезпечують виконання процесів по розробці і кріпленню чола вибою, навантаженню і видаленню ґрунту за межі комплексу, зведенню тунельної обробки, нагнітання розчину в заобробний простір і т.д..

Комплекси, в яких досягається повна механізація тунельних робіт, називаються механізованими комплексами (рис. 1.3). У таких комплексах щит 2 має робочий орган / для розвитку та завантаження породи, конвеєр 3 для виведення породи з плити. Слідом за щитом у поєднанні зі штабелером 4 встановлений тунельний транспортер 5 та інші технологічні пристрої. При бурінні в хитких гірських породах робоче (виконавче) тіло диска, поряд з розвитком гірської породи, забезпечує підтримку чола торця від руйнування.

За принципом дії розрізняють три групи робочих органів:

- Постійні дії, якщо розвиток ґрунту відбувається одночасно на всій площі забою (наприклад, робочий орган роторного типу);
- циклічна дія, якщо розвиток ґрунту відбувається протягом певних періодів часу на певних ділянках забою (наприклад, робочий орган екскаватора);

- комбінована робота в поєднанні принаймні з одним із двох типів робочих елементів (наприклад, екскаватор з горизонтальними секційними платформами).

Роторні робочі органи можуть бути з плоскою або гвинтовою планшайбою (мал. 1.5, а) із щілинами для виходу ґрунту або променевого типу (мал. 1.5,б). Ці органи в залежності від міцності порід оснащують пластинчастими або стрижневими різцями, шарошками й іншим інструментом. При обертанні різальний інструмент врізається в ґрунт і руйнує його.

Щит може бути оснащена змінними робочими органами залежно від довговічності порід: робочим органом екскаватора (рис. 1.5, в) для роботи в супісках, суглинках, суглинках; виконавчий орган стріли з ріжучою коронкою (рис. 1.5, г) для роботи в твердих глинах, вапняках, пісковиках.

Горизонтальні перегородки (майданчики) робочого органу дозволяють працювати в піщаних і пухких ґрунтах. На горизонтальних перегородках, коли вони вводяться в забою, ґрунтові стебла формуються під природним схилом, що забезпечує стійкість забою (тобто діє як тимчасова фіксація).

За допомогою механізованих комплексів, окрім звичайної збірної обробки, будуються також монолітні пресовані та збірні, пресовані при обробці каменю. Монолітно пресовані вироби створюються під час ущільнення бетонної суміші силами гідроприводів панелі при введенні плити в торцеву поверхню. Після встановлення ще однієї ділянки опалубки в хвостовій частині диска та впорскування бетонної суміші диск рухається вперед, тоді як під тиском гідроциліндрів суміш в опалубці ущільнюється і бетон обробляється безпосередньо за екраном. Особливістю збірного залізобетонного прошивання круглої форми, вдавненого в навколишню гірську масу, є те, що відразу після їх установки обробні кільця притискаються до контуру виробництва і негайно починається обробка, запобігаючи розвитку тиску і осідання породи.

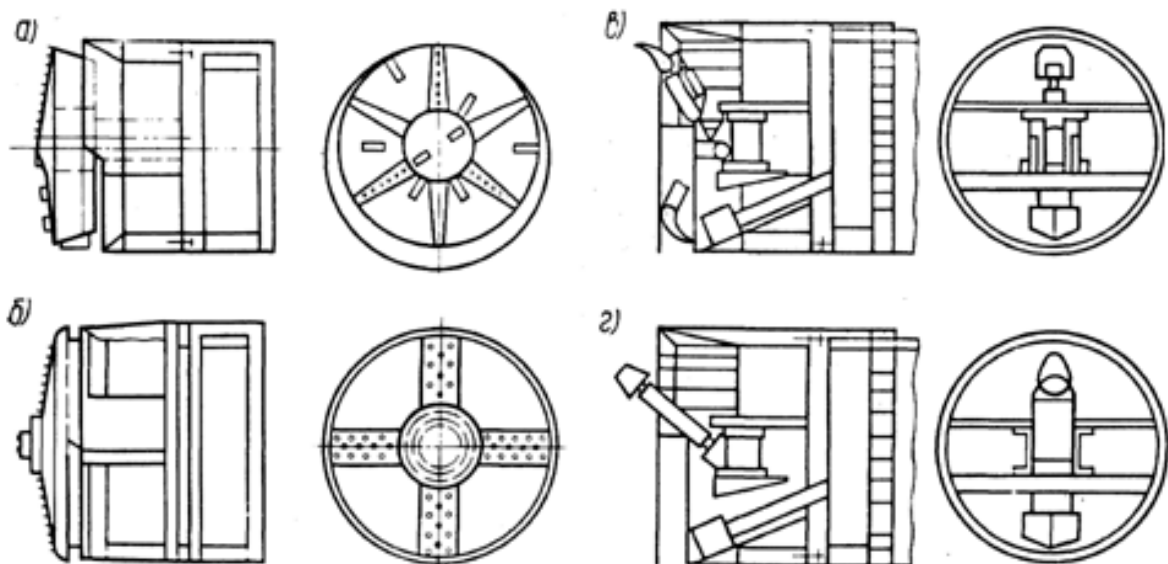


Рис. 1.6- Схеми робочих органів механізованих прохідницьких щитів:

а-роторний із гвинтовою планшайбою; б - роторний променевого типу; в - екскаваторного типу; г - фрезерного типу.

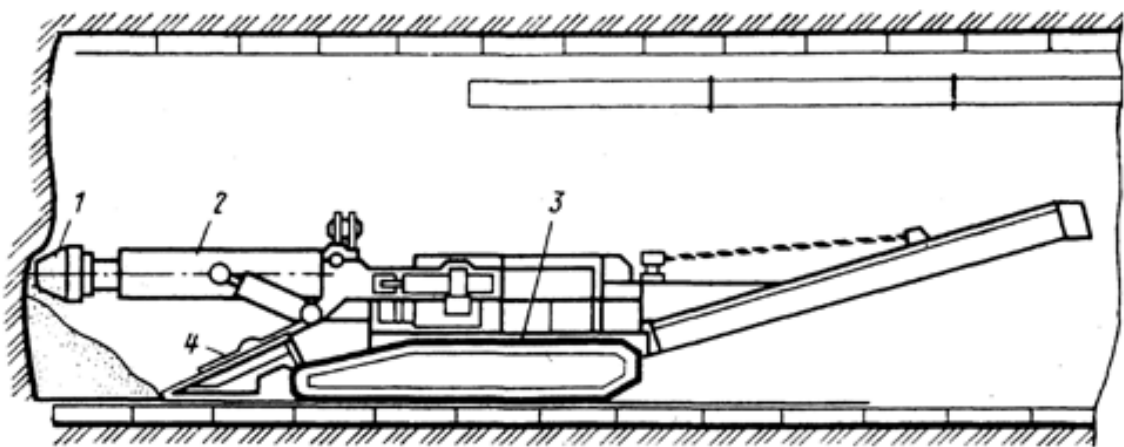


Рис. 1.7 - Прохідницький комбайн 4ПП-2

У процесі проникнення щит отримує крен (вони обертаються навколо осі). Для запобігання коченню в дисках використовуються елерони (металеві пластини), які встановлюються в спеціальні прорізи в сегментах опорного кільця (нижній кронштейн) і виштовхуються гідроциліндрами за корпус щита. Для того, щоб мати змогу утримувати прикриття на криволінійних ділянках траси тунелю,

необхідно продовжити частину шахти в односторонньому порядку. Для цього на робочому тілі щита встановлений висувний копіювальний ніж (копірний конус). Він керує копіром за допомогою гідравлічного щитового приводу з робочого місця. Лазерні пристрої використовуються для визначення та контролю положення цілі в плані та профілі. Пристрій прикріплений до обробки таким чином, що лазерний промінь спрямований паралельно осі тунелю і знаходиться на 1-1,2 м нижче дуги. використовувати капронову нитку). Після зняття кришки з лазерного пристрою нові схили та різьблення кріпляться через кожні 100-150 м.

Для герметизації будівельного зазору і додання кільцям правильного геометричного обрису в щитах установлюють пневматичний торовий пристрій.

Тунельний прохідницький комбайн (рис. 1.6) являє собою самохідну машину на гусеничній колії. Зернозбиральний комбайн - це мобільна машина, яку при необхідності можна зняти без необхідності окремо демонтувати робочу поверхню (це неможливо для прохідницького щита). На відміну від прохідницьких щитів, комбайни можуть застосовуватися для видобутку корисних копалин з різними формами перетину та розмірами. Однак на тунельному комбайні немає рухомих кріпильних елементів, тому його можна використовувати лише на стійких шахтах.

2 Автоматизація прохідницького комплексу

2.1 Моделі критеріїв якості процесу буріння

Коли характеристики граничного крутного моменту змінюються, потужність і вібрація будуть рухатися хаотично (дрейф), тим самим звужуючи або розширюючи область регулювання А. За цієї умови: ω і p може вироблятися тільки автоматичною системою керування.

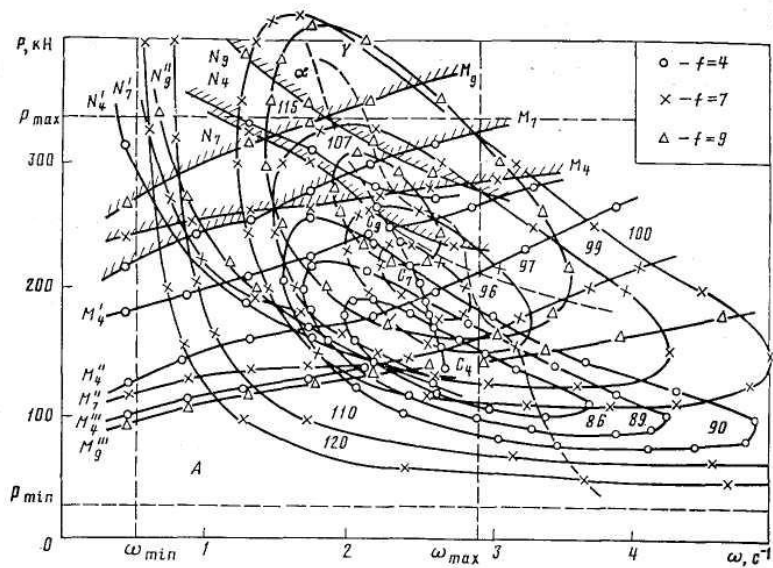


Рис. 2.1 - Приклад двовірної моделі С-критерію в площині параметрів ω , P :

А - область оптимальних режимів;

α - оптимальна траєкторія;

γ - лінія обмеження по виброскорості. Заштриховано лінії обмеження по моменту М и потужності N.

На додаток до унімодальної моделі, що розглядається в буровій практиці, зазвичай існує стандартна модель якості (бімодальна модель) з двома вершинами. У кожній вершині цієї моделі стандарти якості мають надзвичайно велике значення.

Форма ліній рівного рівня критерію якості в площині параметру ω і p

Залежить від типу бурового інструменту. Загальною рисою всіх моделей є те, що граничне значення обраного стандарту якості знаходиться поблизу сімейства гіперболічних кривих. Лінія з найменшим градієнтом також апроксимується як гіпербола.

2.1.2 Методи оптимізації процесу буріння

Встановлені характеристики стандартної моделі якості слід враховувати для оптимізації процесу буріння. Це зменшує час пошуку та зменшує втрату якості під час пошуку.

Оптимізація проводиться у два етапи. На першому етапі, коли система ввімкнена, вихід системи управління процесом буріння буде виведений у вихідну точку. Вихідні координати системи визначаються на основі технічних знань. Враховуючи максимальну міцність f гірської породи, встановлюється початкова мінімальна частота обертання ω бурового снаряда. Початкове значення осьового навантаження p зазвичай визначається вагою снаряда без зайвих зусиль.

Метою другого етапу пошуку є швидше повернення системи до початкової траєкторії. Це повинно відбуватися вздовж лінії максимального градієнта при збільшенні двох параметрів режиму. Якщо немає сенсу, а гіперболічна траєкторія подальшого руху системи на третьому етапі (при пошуку полюсів, розташованих на знайдений гіперболі), два параметри можна одночасно пропорційно збільшити.

Якщо крайня точка раптово змінить свої координати, нові координати точки будуть аналогічним чином шукатися з другого етапу. Якщо координати крайніх точок випадково змінюються, виконайте екстремальне відстеження.

Свердло потрібно свердлити одним обертом свердла на задану глибину. Ця виїмка з головним чином залежить від конструктивних параметрів бурового

долота та від характеристик породи, таких як міцність f . Рекомендується свердлити з мінімальними втратами поглиблення. За певних обставин повинно зберігатися найкраще значення поглиблення для цих умов (наприклад, долото, властивості гірських порід), а саме $z = z_0$. Екстремальні значення основних стандартів якості також повинні використовуватися для буріння, такі як найнижча вартість C_{\min} . Оптимізацію слід починати з критерію z , після чого можна оптимізувати основний критерій.

При бурінні корисна робота виробляється за рахунок енергії $E_{\Sigma}(\xi)$, яка підводиться до вибою по декількох шляхах (каналх) і залежної від параметрів режиму:

$$E_{\Sigma}(\xi) = E(\xi) + S(\xi) = \sum_{i=1}^n E_i(\xi) + \sum_{j=1}^m S_j(\xi),$$

де $E(\xi)$, $S(\xi)$ - відповідно корисна енергія, яка підводиться до вибою, і енергія втрат;

ξ - узагальнений параметр режиму буріння;

i, j - відповідно канали передачі корисної енергії і канали втрат.

Непродуктивні витрати (втрати) енергії $S(\xi)$ можна виразити у виді суми складових витрат енергії в двигуні обертача, редукторі, шпинделі, на тертя об стінки шпори, на пружні переміщення бурового снаряда і вібрації.

Корисна робота на буріння може бути оцінена узагальнено по швидкості буріння $v(\xi)$:

$$E(\xi) = \xi \cdot k_v v(\xi),$$

де k_v - коефіцієнт пропорційності.

Інтенсивність зростання корисної енергії $E(\xi)$ і інтенсивність втрат $S(\xi)$ при збільшенні ξ мають різний вигляд.

Визначимо режим, при якому буріння виконується з максимальним відношенням корисної енергії до непродуктивних витрат:

$$k_0 = \left| \frac{E(\xi)}{S(\xi)} \right|_{\xi=\xi_1} = \max,$$

Можна скористатися іншим співвідношенням:

$$k_0 = \prod_{i=1}^m k'_{0i} = \left| \prod_{i=1}^m \frac{E(\xi)}{S(\xi)} \right|_{\xi=\xi_1} = \max,$$

тобто по кожному i -му каналі може бути знайдене співвідношення k'_0 і визначене потім добуток цих величин. Перевага цього рівняння полягає в тому, що оскільки на кожному каналі передачі енергії є продукт екстремуму, він визначає екстремум.

Оскільки необхідно вимірювати спожиту корисну енергію та втрачену енергію окремо, фактичне використання отриманого рівняння не є зручним. Це утруднення можна обійти, якщо скористатися знаходженням співвідношень k'_{0i-1} і k'_{0i} по кожній парі каналів передачі енергії на вибір. При цьому досить вимірювати лише сумарну енергію по кожному з каналів передачі її на вибір.

Відношення коефіцієнтів k'_{0i-1} і k'_{0i} для кожної пари каналів передачі енергії має вигляд:

$$\eta(\xi) = \frac{k'_{0i-1}(\xi)}{k'_{0i}(\xi)} = \frac{E_{i-1}(\xi)S_i(\xi)}{E_i(\xi)S_{i-1}(\xi)},$$

Найкращий режим з погляду η -критерію буде спостерігатися, якщо

$$\frac{E_{i-1}(\xi)}{S_{i-1}(\xi)} \max; \quad \frac{S_i(\xi)}{E_i(\xi)} = \min.$$

Фактичний приклад показаний на рис. 9, де знаходить оптимальне значення параметра за критерієм η щита тунелю. На рисунку 2.2 показані виробничі умови та розрахункові характеристики: швидкість буріння v , потужність каналу

N_B "обертання", потужність вібрації N_{vib} та сила тертя N_T , втрата потужності, вартість буріння C та залежність між параметром η та осьовим навантаженням p . Крива пов'язана з буровим піщаником $f = 6 \div 8$ біт 203К-214ТР та швидкістю обертання бурового інструменту $\omega = 1,7$ с⁻¹. Характер залежностей, що спостерігаються при бурінні різних гірських порід іншими типами бурових інструментів, залишається незмінним.

Як розглянуту пару каналів, взяті канали "подача" і "обертання" бурового снаряда. Параметр $\eta(\xi)$ обчислений по співвідношеннях:

а) енергія подачі для поступального руху бурового снаряда:

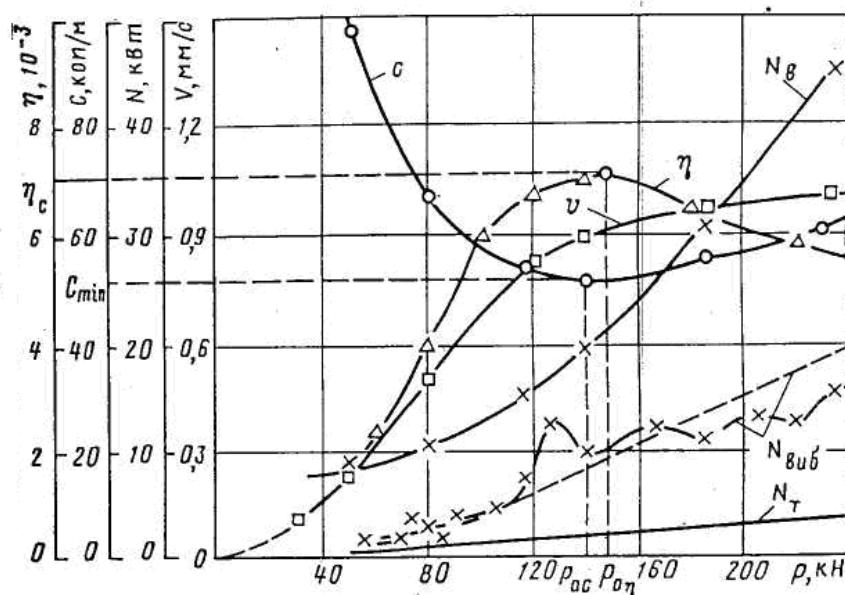


Рис.2.2. Характеристики η , C , N , V у функції параметра p

$$A_n(p, \omega) = pz(p, \omega) = p \frac{v(p, \omega)}{\omega},$$

де z - поглиблення долота за один оборот обертання;

p - сила подачі (осьове навантаження);

б) енергія на обертання бурового снаряда:

$$A_e(p, \omega) = \frac{N(p, \omega)}{\omega},$$

Відношення енергій η визначається як відношення потужностей:

$$\eta(p, \omega) = \frac{A_n(p, \omega)}{A_s(p, \omega)} = \frac{p v(p, \omega)}{N(p, \omega)},$$

З рисунка 2.2 видно, що для параметрів режиму гоґ існує певне значення, а η визначається як максимальне значення співвідношення енергії каналу "подача" та "обертання" ($\eta_{\text{гоґ}} = \eta_0$). Спостережувані значення η_0 та C_{min} - це частки максимального та мінімального значень фіксованого значення швидкості бурового снаряда ω , другий параметр моделі. Також видно, що значення оптимального параметра p , розраховані за стандартними C_{min} та η_0 , близькі.

При зміні частоти обертання ω бурового снаряда значення p_0 зміщується (рис. 2.3) і при деякому значенні осьового навантаження p_{00} мається мінімальне відношення енергії η_{omin} (точка С). При цьому точка p_{00} є оптимальною в площині двох параметрів (ω и p). Точці p_{00} відповідає оптимальна частота обертання ω .

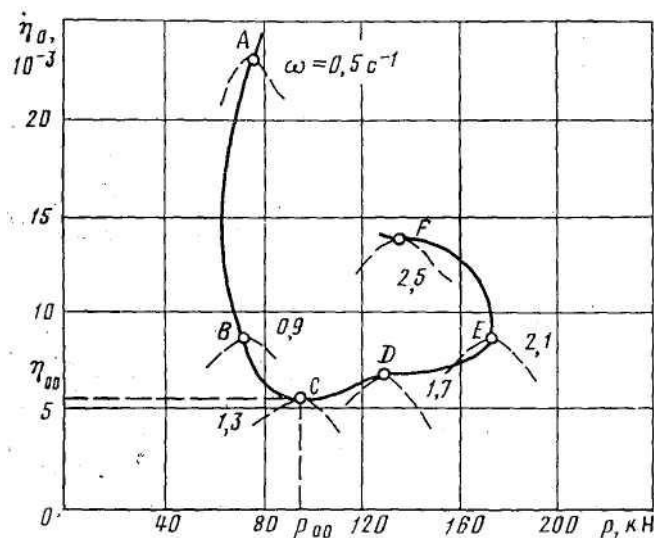


Рис. 2.3. - Залежності параметра η від осьового зусилля p і точки (А, У, З, D, Е, F), що належать оптимальному режиму по частоті обертання ω .

Відповідно до явної послідовності дій, що враховуються при пошуку найкращого режиму за параметром η . На першому етапі існує оптимальне

значення осьового навантаження p_o , при якому максимальна подача енергії A_p подається на буровий ставок. На другому етапі пошуку, коли відношення максимальної енергії подачі до енергії обертання найменше, встановлюється оптимальна швидкість обертання бурового снаряда, при якій максимальна енергія обертання A_v передається на робочу поверхню. Знайдене значення осьового навантаження дорівнює p_{oo} .

2.1.3 Функціональні схеми і програми робіт системи керування

Схема функцій системи управління. Відповідно до законів принципів буріння та управління можна ввести у вигляді блок-схеми (рисунок 2.4) комплексне рішення автоматизації тунельного щита для оберткових операцій, яке призначене для роботи в умовах відкритої розробки вибухового буріння.

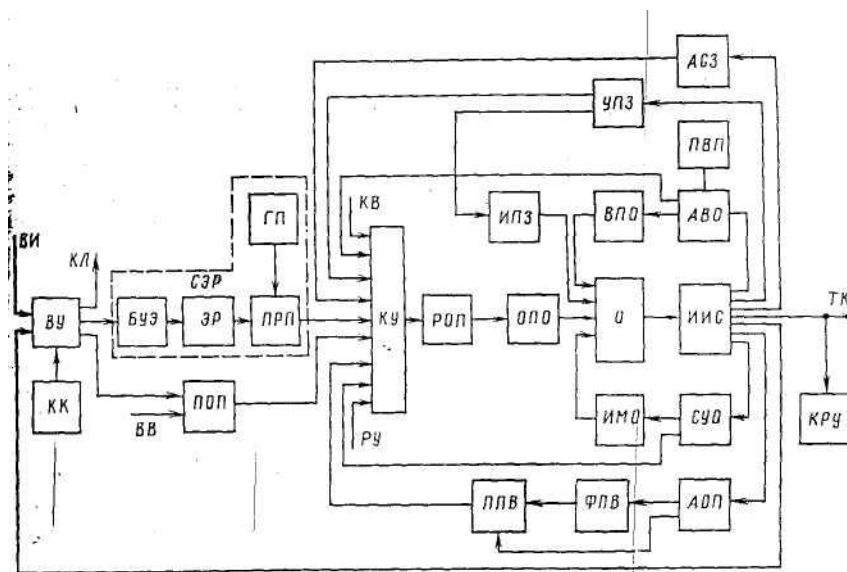


Рис.2.4 - Повна схема автоматизації прохідницького щита.

Екран тунелю (об'єкт О) містить головний привід (ОРО) (привід ротора, подача, система пневматичної передачі), які контролюються регулятором (РОР). Останнім можна керувати вручну (вхідне ручне управління RU) або автоматично. Система вимірювання інформації (IIS) об'єкта О забезпечує необхідну інформацію для всіх своїх систем управління. Рис.2.4 - Повна схема автоматизації прохідницького щита

Обчислювальний пристрій (ВУ) на основі поточної інформації від ИИС, і вступної інформації (ВИ) робить безперервне або дискретне обчислення критерію якості бурового процесу. При цьому необхідний вид критерію якості може бути обраний за допомогою блоку вибору критерію (КК). Одержувана на виході блоку ВУ інформація може використовуватися для керування процесом на вибір оператора або задана у виді програми керування (ПП) і додаткової вступної інформації (ВВ). З її допомогою також здійснюється екстремальне регулювання. В останньому випадку до виходу блоку ВУ повинна бути підключена система екстремального регулювання (СЕР), що містить блоки поліпшення екстремума (БУЕ), екстремальний регулятор (ЕР), генератор пошуку (ГП) і перемикач (ПРП) виду пошуку. Вибір необхідного виду пошуку здійснюється комутаційним пристроєм (КУ).

Початковий процес буріння - це процес буріння на пухких або пошкоджених гірських породах, який повинен проводитись за спеціальними процедурами. З цією метою система управління об'єктом передбачає свердлильний вузол, який показаний у вигляді системи буріння (САУ) на малюнку. Система працює відповідно до поточної інформації і включена в блок КУ. Установа оснащена системою контролю захисту (УПЗ) та захисним приводом (ПЗ), призначеним для захисту основних компонентів предмета роботи в аварійних ситуаціях. Система УПЗ повинна не тільки безпосередньо впливати на рушійну силу для виконання захисту, але також одночасно впливати на головний регулятор, щоб змінити значення параметра режиму, щоб об'єкт міг швидше реагувати на ситуацію, яка формується.

Для своєчасного коректування параметрів процесу буріння при виникненні ускладнень при бурінні з метою ліквідації цих ускладнень і недопущення виникнення аварійної ситуації об'єкт О забезпечується аналізатором ускладнень (АОП), формувачем програми відновлення (ФПВ) нормального плину процесу буріння і перемикачем програми відновлення (ППВ), що

працюють на основі безперервної інформації від блоку ИИС і впливають на координати об'єкта О через блок КУ.

Для керування об'єктом у процесі переміщення його від однієї точки буріння до іншої він повинен бути забезпечений системою орієнтації (СУО) і виконавчими механізмами орієнтації (ВМО), що впливають безпосередньо на об'єкт.

Для контролю процесу буріння і реєстрації основних параметрів буріння об'єкт О забезпечується блоком контрольних і приладів, що реєструють. Одночасно параметри процесу буріння можуть передаватися по телеканалі (ТК) у диспетчерський пункт або у виді зворотного зв'язку до бурового верстата, що виконує функції лідера при керуванні верстатом-лідером групою відомих верстатів. Команди верстата-лідера (КЛ) формуються обчислювальним пристроєм і передаються іншим верстатам на комутаційний пристрій КУ по окремому каналі "команда відомому" (КВ).

Відповідно до загальної блок-схеми даної системи автоматизації ми розглянемо конкретну схему системи управління. Повне рішення для автоматизації (див. Рисунок 3.4) включає основну систему управління процесом та безліч допоміжних систем, необхідних для нормальної роботи основної системи. Основним вузлом основної системи, що визначає принцип управління процесом буріння, є обчислювальне обладнання ВУ. Без цього обладнання, в принципі, не може бути побудована жодна система управління процесом. Структура обчислювального пристрою залежить від принципу побудови системи управління, тобто стандарту, що використовується для управління процесом. Для того, щоб зробити систему управління універсальною, рекомендується використовувати комбінований обчислювальний пристрій, здатний виконувати кілька стандартів якості. На малих. На рисунку 5.5 показано варіацію схеми управління функцією, яка включає цей комбінований обчислювальний пристрій.

Система керування об'єктом 1 містить регулятор 2 осьові навантаження p на буровий інструмент і регулятор 3 частоти ω обертання бурового інструмента, підключені до входів бурового комплексу 1. Ці регулятори 2 і 3 через відповідні елементи порівняння 4 і 5 зв'язані з виходами обчислювального пристрою.

До відповідних виходів бурового верстата підключені датчики швидкості буріння 6, частоти обертання бурового інструмента 7, осьового навантаження на буровий інструмент 8, обертового моменту на буровому інструменті 9, віброшвидкості робочого органа верстата 10. Виходи датчиків підключені до відповідних входів обчислювального пристрою. Крім того, на входи обчислювального пристрою вводяться сигнали, пропорційні значенням моторесурса R бурового інструмента; вартості $C_{\text{и}}$ цього інструмента; вартості $C_{\text{е}}$ електроенергії, споживаної буровим верстатом; вартості $C_{\text{а}}$ амортизації бурового верстата і зарплати обслуговуючого персоналу; потужності N , споживаної буровим верстатом (від датчика потужності 11).

Повна блок-схема обчислювального пристрою містить у собі набір блоків обчислення критеріїв якості процесу буріння. Блок обчислення відношення потужності $N_{\Pi} = p\nu$ подачі бурового інструмента на вибій до потужності $N_B =$

ωM розбурювання породи буровим інструментом виконаний у виді дільника 14, на входи якого підключені розмножувальні елементи 15 і 16. На вхід множника 16 сигнал від відповідного датчика приймає сигнал, пропорційний поточному значенню осьового навантаження p і швидкості буріння v . На вхід множника 15 сигнал від відповідного датчика пропорційний поточному значенню частоти обертання свердлильного інструменту ω і крутного моменту M на інструменті. Отримані на виході елементів 15 і 16 значення потужності N_B розбурювання породи і потужності N_n подачі бурового інструмента на вибій надходять на вхід дільника 14, з виходу якого індикатором 17 знімається шукана величина $\eta = pv / \omega M$. Цей же блок використовується для обчислення добутку відносини осьового навантаження p на буровому інструменті до обертового моменту M на цьому інструменті на поглиблення z бурового інструмента за один оборот його обертання, при цьому z може бути задано постійним за значенням для всієї гами разбурених у даних умовах порід або бути функцією якої-небудь властивості цих порід.

Блок для обчислення критерію якості C формується на суматорі 26. Один вхід суматора 26 підключений до виходу іншого дільника 28 через проміжний дільник 27. Вхід дільника 28 отримує поточне значення сигналу поглиблення z і вартості C_n бурового інструмента. На один із входів проміжного дільника 27 надходить обчислене дільником 28 значення відношення вартості C_n бурового інструмента до поглиблення z цього інструмента за один оборот його обертання, (на іншій - через перемикач 43 ресурсу - значення моторесурса R бурового інструмента, що може бути визначене в одному з наступних видів:

$$R = R_p = \varphi(p); \quad R = R\omega = \text{const.}$$

Функція $\varphi(p)$ "Суматор" обчислюється перетворювачем функцій 29 навантаження p . Другий вхід суматора 26 з'єднаний з виходом суматора 31 через проміжний дільник 30. Один з його входів приймає сигнал. C_a , що це

еквівалентно вартості амортизації бурової установки та зарплаті обслуговуючого персоналу. Інший вхід включає множник 32. Його вхід подається на сигнал, що відповідає вартості C_e кіловат-години електричної енергії і значенню споживаної верстатом потужності N . Другий вхід проміжного дільника частоти 30 від датчика швидкості свердління приймає сигнал, що відповідає поточному значенню швидкості v . Поточне значення собівартості C контролюється по індикатору 34, включеному на виході суматора 26.

Блок, який використовується для розрахунку стандарту якості свердління C , також використовується для розрахунку приватних стандартних витрат, таких як вартість буріння на свердлильному інструменті C_i , вартість буріння електроенергії, споживаної свердлильною машиною, C_e , свердління амортизації свердлильної машини Витрати та зарплата працівників. Для цього агрегат забезпечений відповідними елементами. Модуль для розрахунку стандарту якості через перемикач 44 підключений до вхідного терміналу системи обмеження контролю (СЕР). Вихід СЕР 33 з трибітовим вихідним елементом 45 перемикача 47 підключений або підключений до одного з входів елемента порівняння 4 через перемикач 55, тобто поточне значення продукту ωp з оптимальним значенням показника F_0/z_0 , або через перемикач 36 - з Одним із входів елемента порівняння 5 є поточне значення z поглиблення свердлильного інструменту та оптимальне значення z_0 поглиблення. Середнє положення елемента 45 вимикача 47 відповідає регулятору 33 відкритого обмеження. У положенні середнього положення елемента 45 перемикача 47 компенсатор 20 підключений через елемент 46 перемикача 47 до входу елемента порівняння 4, а вхід елемента порівняння 5 проходить через елемент 45 перемикача 47 і входу елемента порівняння 4 Елемент 35 перемикача 49 включає регулятор границь 33, а вхід елемента порівняння 5 через елемент 48 перемикача 47 включає компенсатор 24. Якщо регулятор границь 33 включений елементом 45 перемикача 47. Введіть 5 в елемент порівняння, то на вхід

елемента порівняння 4 через елемент 46 перемикача 47 включений компенсатор 20.

Вихід елемента 51 перемикача 49 і порівняльного елемента 4 перемикача 19 електрично підключений до одного з входів осьової сили p контролера 2.

Індикатор 21 підключений на виході елемента порівняння 4.

Вихід елемента 52 перемикача 50 і порівняльного елемента 5 перемикача 23 електрично підключений до одного з входів регулятора 3 частоти обертання свердла ω . Індикатор 25 підключений до виходу елемента 5 порівняння.

Інший вхід перемикача 19 підключений до блоку 18. На вхід від блоку 18 блоку 8 осьового навантаження p подається сигнал зворотного зв'язку, пропорційний навантаженню. Передавач 22 підключений до іншого входу перемикача 23. Вхід від передавача 22 частоти обертання ω свердлильного інструменту від датчика 7 є сигналом зворотного зв'язку, пропорційним частоті ω .

Блок обмеження осьового навантаження p бурового інструмента містить елемент порівняння 40 поточного значення γ віброшвидкості з заданим за допомогою задатчика 41 значенням γ_{op} віброшвидкості. Вихід елемента порівняння 40 через замикаючий елемент 42 підключений до другого входу регулятора 2 осьові навантаження p на буровий інструмент.

Блок обмеження частоти ω включає елемент порівняння поточного значення γ швидкості вібрації та значення γ_{op} швидкості вібрації, встановленого блоком 38. Елемент порівняння 37 підключений до другого вхідного кінця регулятора швидкості обертання 3ω бурового інструменту через вихідний кінець запірного елемента 39.

Для виконання операцій обчислювального пристрою можна використовувати кілька програм. Необхідна робоча програма обчислювального пристрою попередньо вибирається оператором свердлильної машини 1.

Вибирається необхідний критерій якості, по якому буде вироблятися регулювання. Критеріями якості в обчислювальному пристрої можуть бути:

- відношення η потужності $N_{\text{п}}$ подачі бурового інструмента до потужності $N_{\text{в}}$ розбурювання породи. Цей критерій вигідно застосовувати при бурінні порід невеликої твердості, грузлих і пухких. Він дає можливість робити буріння з низькими витратами енергії на непродуктивні втрати (вібрації бурового верстата, тертя бурового снаряда об стінки свердловини і т.д.);

- добуток p_z/M відношення осьового навантаження p до обертального моменту M на буровому інструменті на поглиблення z бурового інструмента за один оборот його обертання. Цей критерій p_z/M вигідно застосовувати у випадку буріння порід невеликої твердості і грузлих порід, коли переміжність гірських порід по фізико-механічних властивостях (наприклад, твердості) відбувається повільно. У цьому випадку буріння можна проводити з постійним заданим значенням поглиблення z бурового інструмента за один оборот його обертання;

- собівартість C буріння. Цей критерій вигідно застосовувати при бурінні міцних порід, коли відбувається швидкий знос бурового інструмента і потрібно забезпечити ефективне використання цього інструмента;

- частки собівартості, у якості яких можуть застосовуватися собівартість $C_{\text{и}}$ бурового інструмента, собівартість $C_{\text{а}}$ амортизації бурового верстата і зарплата обслуговуючого персоналу, собівартість $C_{\text{е}}$ електроенергії, споживаної буровим верстатом, і інші комбінації часток собівартостей;

- інші критерії якості (гібридні), коли частота ω обертання регулюється, наприклад, по мінімуму собівартості C буріння, а осьове навантаження p - по максимуму відносини $N_{\text{п}}/N_{\text{в}}$ потужності $N_{\text{п}}$ подачі бурового інструмента до потужності $N_{\text{в}}$ розбурювання гірської породи й ін.

Коригувальні ланцюги і програми в системах керування. Побудова ланцюгів обчислювального пристрою, призначених для коректування параметрів режиму

бурового верстата О, автоматичного забурювання і здійснення захисних функцій при бурінні, ілюструється на рис. 3.6. Інформація для такого пристрою збирається вимірною системою ВС.

Блок забурювання 1 містить елементи порівняння 4, 5, однополярні підсилювачі 6, 7, суматор 8 і нелінійний елемент 9 (наприклад, типу реле). Порівнюються сигнали уставки граничної швидкості v_y забурювання з поточним значенням цієї швидкості v і гранично припустимого значення тиску p_{vy} повітря для пневмоочистки шпар з поточним його значенням p_v .

Блок забурювання 1 включається за допомогою релейного елемента 9 і перемикача ПРР режимів роботи, якщо швидкість v перевершує задане уставкой значення v_y або якщо тиск повітря P_v перевершує задане значення P_{vy} . У такому випадку на виході відповідного однополярного підсилювача (6 або 7) з'являється один із сигналів:

а) $U_v = (v - v_y) > 0$;

б) $U_p = (P_v - P_{vy}) > 0$.

У систему забурювання з технологічних розумінь можуть бути включені інші параметри бурового процесу, по уставкам який може здійснюватися включення програми забурювання. Це програма складається з оптимального для проведення з забурювання сполучення значень параметрів процесу буріння і підключається перемикачем ПРР з одночасним відключенням основної системи керування.

Обчислювальний пристрій 2 містить блоки обчислення

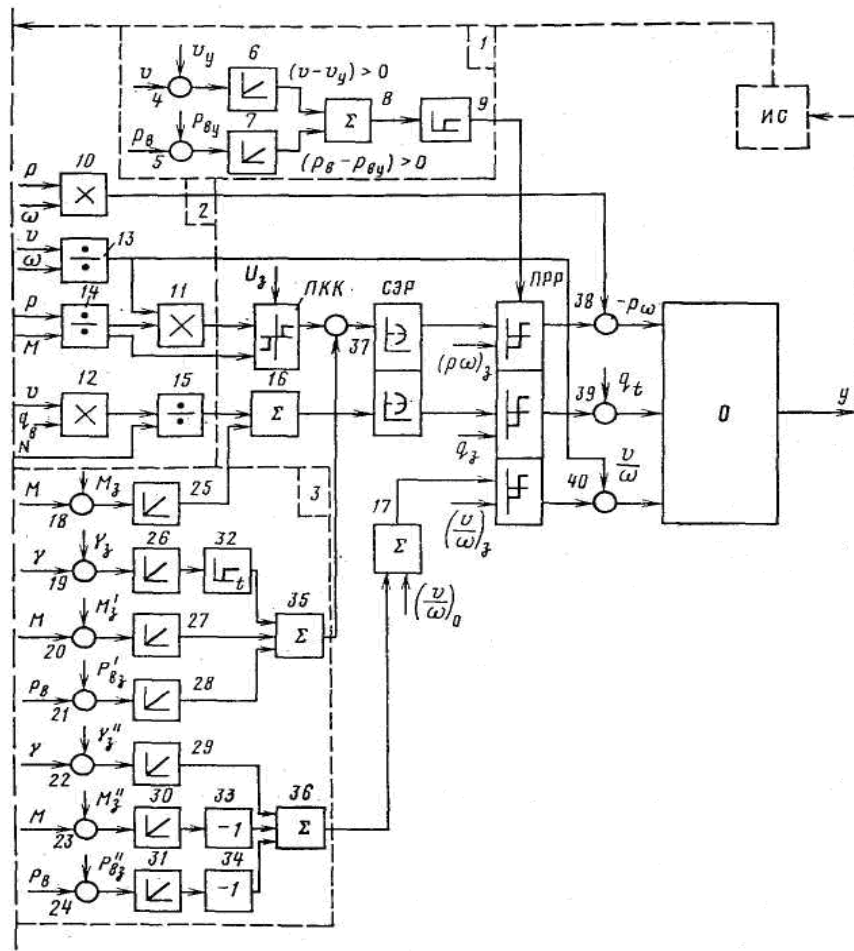


Рис. 2.6 - Функціональна схема обчислювального пристрою з коректуванням параметрів буріння.

критеріїв якості, виконані на множних (10, 11, 12) і ділильних (13, 14, 15) елементах. Потрібний критерій може бути обраний за допомогою сигналу U_z , який подається на перемикач ПКК критерію якості. У нормальних умовах, при бурінні без ускладнень регулювання процесу ведеться за допомогою системи екстремального регулювання (СЕР) за обраним критерієм якості, причому регульованими параметрами є показник буримості ($p\omega$), витрата повітря q_t , частота ω обертання бурового інструмента, обчислювані безупинно обчислювальним пристроєм 2 за допомогою СЕР і елементів порівняння 38, 39, 40. При цьому поглиблення $(v/\omega)_0$ задано заздалегідь уставкой на вході суматора 17.

Блок коректування параметрів процесу буріння 3 містить елементи порівняння 18 - 24, однополярні підсилювачі 25 - 31, блок тимчасової затримки 32, елементи 33, 34, суматори 35 - 36. Виникнення ускладнення будь-якого виду (по вібраціях γ , підвищенню обертального моменту M або зусилля p вище припустимого рівня) приводить до появи на суматорах 16, 35, 36 сигналу, пропорційного рівню ускладнення. Підсумовування відповідного складового останнього сигналу на елементі порівняння 37 на вході СЕР рівноцінно коректуванню процесу буріння за зміненим критерієм якості.

Оптимальна програма керування (рис. 2.7) визначається

системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \omega_0(v) &= \omega_{\min} + \alpha v; \\ P_0(v) &= k_p v^{-1}; \\ q(v) &= q_0(v) = \text{const.} \end{aligned} \right\}$$

На рис. 2.7 крім оптимальних залежностей $\omega_0(v)$, $p_0(v)$ показані також криві $\omega_{\text{ф}}(v)$, $p_{\text{ф}}(v)$, $\omega_{\text{л}}(v)$, $p_{\text{л}}(v)$, що визначають відповідно форсований і полегшений режими буріння. Мінімальне значення ω_{\min} частоти обертання ω бурового снаряда визначається уставкой по технологічних розуміннях. Мінімальне значення p_{\min} осьового зусилля p дорівнює власній вазі бурового снаряда. Критичне значення $\omega_{\text{к}}$ частоти обертання ω бурового снаряда визначається рівнем припустимої вібрації конструкції верстата, критичне значення $p_{\text{к}}$ осьового зусилля - віброустійкістю бурового става.

Вище критичного значення $\omega_{\text{к}}$ коректування частоти обертання ведеться у бік зниження цієї частоти пропорційно значенню віброшвидкості γ (скоректовані статичні характеристики на рис. 2.7 показані пунктиром). Коректування осьового зусилля p ведуться у бік зниження цього зусилля також пропорційно віброшвидкості. Вище критичного значення $p_{\text{к}}$ коректування осьового зусилля ведеться у бік його зниження пропорційно віброшвидкості або обертальному моменту. На графіку (див. рис. 2.7) відзначені також точки з

координатами v_1 , p_k і v_2 , ω_k , проекції яких на осі абсцис розділяють графік на три зони, що відповідають діапазонам v : $0 - v_1$, $v_1 - v_2$, $v_2 - v_{\max}$.

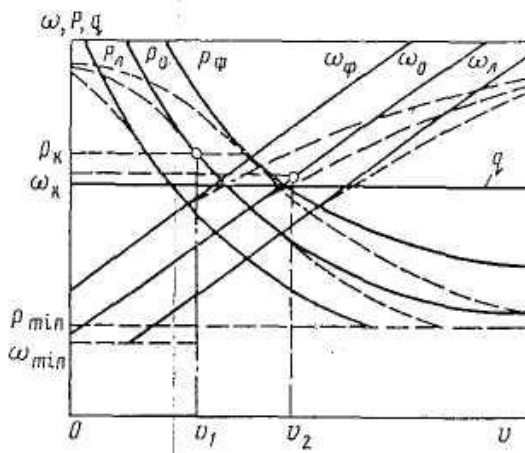


Рис. 2.7 - Оптимальні програми і характеристики системи керування, що працює по твердій програмі.

У першій зоні необхідні, як правило, регулювання оптимального режиму у бік зменшення p за умовами вібростійкості бурового става. Друга зона відповідає практично некоректуючому оптимальному режиму. У третій зоні можливі найбільш часті коректування оптимального режиму у бік зменшення обох параметрів режиму буріння. Практично це може привести до буріння на полегшеному режимі, коли значення параметрів p і ω значно нижче оптимальних.

Коректування параметрів режиму буріння в системах, керування забезпечує надійність їхньої роботи при бурінні перемежованих по міцності f гірських порід. Це коректування дозволяє захистити верстат від надмірних вібрацій його конструкцій, а також від перевищення обертового моменту на долоті вище припустимого рівня.

2.2 Технічні засоби керування процесом буріння

2.2.1 Вузли й елементи систем керування

Датчики систем керування. Застосування датчиків швидкості буріння (ДШБ) у системах керування і контролю викликається необхідністю оперативної оцінки властивостей гірських порід у процесі буріння.

На бурових верстатах застосовуються два типи ДШБ: вбудовані в гідросистему подачі бурового верстата (якщо така система на верстаті маєтся) або зв'язані з рухливою частиною бурового верстата механічно. ДШБ першого типу являють собою, як правило, зчленовані механічно по валах гідродвигун і тахогенератор, причому гідродвигун приводиться в обертання потоком рідини (олії). Величина цього потоку, а, отже, і частота обертання тахогенератора, пропорційна швидкості подачі робочого органа на вибій шпари, тобто в першому наближенні - середньої швидкості буріння.

Основним недоліком таких ДШБ є те, що вони створюють додатковий опір у гідросистемі подачі бурового робочого органа, пропорційне квадрату швидкості переміщення цього робочого органа. Маються також чисто технічні труднощі використання таких ДШБ, у числі яких можна вказати на недостатню їхню надійність (унаслідок малої надійності пристроїв ущільнення гідросистем), а також неможливість застосування на бурових об'єктах у яких гідроподача відсутня (наприклад, на верстатах з вільною і механічною фрикційною подачею). Однак ці ДШБ володіють поруч достоїнств, основним з яких є простота зчленування й установки конструкцій.

Великою універсальністю володіють датчики, зв'язані механічно безпосередньо з робочим органом бурового верстата, наприклад, ДШБ із перетворюючим пристроєм, у якому використовується послідовний диференційний ланцюг.

У сталому режимі струм послідовного диференційного ланцюга пропорційний швидкості зміни вхідного сигналу, тобто в кінцевому рахунку -

швидкості переміщення. При досить малій величині постійній часу такий диференційний ланцюг може бути використаний для виміру миттєвої швидкості переміщення, що має вид випадкової функції.

Перетворювач цього ДШБ являє собою тороїд, навитий з електротехнічної листової сталі. На ньому знаходяться дві пари вимірювальних обмоток. Кожна з цих обмоток охоплює половину довжини тороїда. Друга пара обмоток зміщена щодо першої на 90° . Перша пара обмоток розташовується в нижньому шарі, друга - у другому шарі намотування. Кожна з пар обмоток з'єднується послідовно. Усередині тороїда поміщений сердечник, шихтований з електротехнічної сталі, що має з-подібну форму, навколо середньої частини його намотана первинна обмотка, що живиться напругою змінного струму. з-образний сердечник жорстко з'єднаний з віссю і може вільно обертатися в підшипниках.

При включенні первинної обмотки під змінну напругу у вторинних обмотках будуть наводитися едс, значення і напрямки яких залежать від положення рухомого сердечника.

Для ДШБ описаного виду можна застосувати обертовий трансформатор або сельсин, що працює в режимі змушеного переміщення його ротора від робочого органа бурового верстата, кінематично з ним зв'язаного.

Напруги на фазах трифазної обмотки сельсина при його обертанні змінюються в часі по синусоїдальному закону і зміщені на рівні електричні кути. Ці фазні напруги можна представити у виді симетричної трифазної системи, частота якої пропорційна куту швидкості ротора сельсина. З виходу кожної обмотки ротора сельсина після випрямлення і перетворення за допомогою нелінійних елементів виходять три електричних сигнали, що диференціюються, а потім випрямляються за допомогою трифазного моста. У результаті виходить електричний сигнал, амплітуда якого пропорційна частоті обертання сельсина-датчика.

При вимірах швидкості буріння на буровому верстаті перетворювач ДСБ (сельсин) жорстко закріплюється на підставі в нижній частині верстата, на вісь перетворювача насаджується шків, діаметр якого вибирається виходячи з діапазону вимірюваної швидкості буріння, а на шків надівається тросик, у верхній і нижній своїй частині закріплений жорстко на рухливій частині робочого органа верстата.

Датчики осьового зусилля. Результиуюче зусилля, що розвивається гідросистемою бурового верстата, залежить від величини тиску олії в штокових порожнинах гідроциліндрів системи подачі бурового снаряда на вибій і величини протитиску (підпору), що виникає в нижніх порожнинах гідроциліндрів у результаті перекриття (часткової або повного) зливної порожнини гідросистеми. Зусилля на вибої визначається різницею тиску обох порожнин.

Для полегшення розрахунку результиуючого зусилля можна користуватися номограмами або при постійному значенні тиску в напірній магістралі проградувати манометр нижньої порожнини в одиницях результиуючого зусилля (у виді зворотної шкали). Однак така оцінка осьового зусилля не може бути точною, крім того, даний метод виміру не дає можливості одержання безперервної оцінки осьового зусилля у виді сигналу, придатного для використання в системах керування. Необхідне застосування для цієї мети диференціальних датчиків тиску. Один з подібних датчиків, основу якого складають електричні пружинні манометри МПЕ-МІ, показаний на рис. 2.8.

Принцип дії манометрів заснований на перетворенні переміщення пружного чуттєвого елемента під дією вимірюваного тиску в токовий сигнал за допомогою малогабаритного магнітомодуляційного перетворювача (ММП-М) з компенсацією магнітних потоків. Вимірюваний тиск перетвориться чуттєвим елементом - одновитковою трубчастою пружиною 7 - у переміщення постійного магніту 6, що створює керуючий вплив у виді магнітного потоку Φ_m .

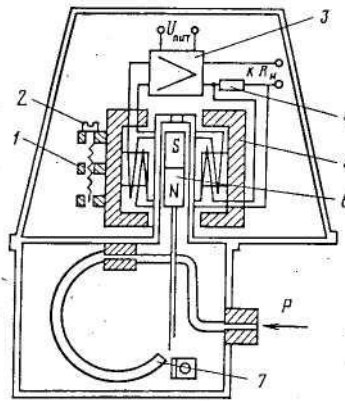


Рис. 2.8 Диференційний датчик тиску на базі МПЕ-МІ.

Цей потік компенсується магнітним потоком зворотного зв'язку Φ_{oc} , що виникає при протіканні в обмотках зворотного зв'язку W_{oc} вихідного сигналу постійного струму I . При зміні потоку Φ_m змінюється намагніченість сердечників магнітомодуляційного перетворювача 5, і в його обмотках W_b виникає сигнал неузгодженості. Цей сигнал керує вихідним сигналом підсилювального пристрою 3, що передається в лінію дистанційної передачі й одночасно в обмотку зворотного зв'язку. Налаштування діапазону здійснюється за рахунок зміни опору 4, а налаштування нуля - плавним переміщенням феромагнітного шунта за допомогою гвинта 2.

Вторинні прилади і пристрої, що працюють від уніфікованого сигналу постійного струму (наприклад, міліамперметри), включають у розрив електричного ланцюга двухпроводної лінії зв'язку. Вторинні прилади і пристрої постійної напруги (наприклад, вольтметри) підключають паралельно навантажувальному опору R_n , обраному в залежності від вхідного сигналу цих пристроїв. Вторинні прилади повинні підключатися таким чином, щоб у процесі експлуатації по можливості не відбувалося стрибкоподібної зміни навантаження щоб уникнути викиду вихідного сигналу. Загальний сумарний опір усіх

вторинних приладів з урахуванням лінії зв'язку не повинний перевищувати значень, зазначених у технічних даних.

Непряний вимір осьового зусилля манометричними датчиками тиску не завжди може дати досить точні результати. Більш точно вимірити осьове зусилля можна безпосередньо на робочому органі бурового верстата, наприклад, за допомогою магнітопружного датчика, що дозволяє робити цей вимір без проміжних перетворень.

Магнітопружний датчик зусилля на вибій дросельного типу являє собою тороїдальний сердечник, виконаний з матеріалу, що володіє магнітопружним ефектом (сталь Х13Ю4, ОХ23Ю5, Ю12 і ін.). Принцип його дії заснований на зміні магнітної проникності сталі датчика при накладанні до його робочих площин стискаючих сил. Тороїдальна форма магнітопроводів дає можливість зручно розміщати їх на штоках поршнів гідроциліндрів подачі бурового верстата.

Датчик містить чуттєвий елемент тороїдальної форми, у якому присутні радіально розташовані отвори для укладання обмоток, число яких парне. Робочі обмотки намотуються таким чином, що магнітні потоки розташованих поруч котушок спрямовані назустріч один одному. Комплект датчика складається з чуттєвого елемента з робочими обмотками, верхніх, нижньої і шайб, що центрує. Поверхні, що сполучаються, двох останніх шайб виконані сферичними. Це необхідно для усунення перекосів після зборки датчиків на штоках поршнів гідроциліндрів подачі. Для установки датчиків на буровому верстаті необхідно мати подовжені проти звичайні штоки поршнів гідроциліндрів подачі. Можна скористатися також спеціальними подовжувачами.

Число встановлених датчиків на верстаті відповідає кількості штоків поршнів гідроциліндрів подачі бурового верстата (для верстатів 2СБШ-200Н, ЗСБШ-200-60 воно дорівнює двом). Можливе застосування будь-якої кількості датчиків при послідовному їхньому з'єднанні. Для виключення механічних і

атмосферних впливів обмотки датчиків заливаються епоксидною смолою, а самі датчики захищаються кожухами.

Електрична схема включення датчиків дозволяє змінювати чутливість і має компенсаційні елементи для установки нуля. При установці датчиків на штоки гідроциліндрів необхідна попереднє напружене затягування, після чого виробляється компенсація вихідного сигналу, що визначає нульову крапку вимірів. Відхилення стрілки приладу, що показує, регулюється установкою чутливості на оцінку шкали, що відповідає навантаженню, що розвивається, що розрахована по тиску у верхній порожнині циліндрів і їхньої робочої площі.

Функціональні перетворювачі сигналів, необхідні для формування керуючих впливів, можуть бути реалізовані на відомих засобах, наприклад на блоках аналогових обчислювальних пристроїв. Попередньо повинні бути визначені закони перетворення відповідно до реалізованої статичної характеристики. У найпростішому випадку статичні характеристики з достатньою точністю приводяться до наступних рівнянь.

$$\left. \begin{aligned} \omega_0(t) &= \omega_{\min} + k_{\omega} v(t) \quad (0 \leq v \leq v_{\max}); \\ \omega_0(t) &= \omega_{\max} \quad (v > v_{\max}); \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} p_0(t) &= p_{\max} \quad (0 \leq v \leq v_1); \\ p_0(t) &= k_p / v(t) \quad (v_1 \leq v \leq v_2); \\ p_0(t) &= p_{\min} \quad (v_2 \leq v \leq v_{\max}). \end{aligned} \right\}$$

де $\omega_0(t)$, $p_0(t)$ - функції часу оптимальних значень частоти обертання й осьового зусилля;

ω_{\min} , ω_{\max} , p_{\min} , p_{\max} - мінімальні і максимальні значення уставок цих величин;

v_{\max} - максимальне значення швидкості буріння.

Крім того, повинно бути забезпечене зміщення характеристик виду (3.13) і (2.14) у площині обох осей координат. Характеристики виду (2.14) можуть бути реалізовані шляхом введення уставки мінімальної частоти ω обертання (ω_{\min}) і

підсилювальною ланкою з коефіцієнтом підсилення, рівним k_{ω} . Характеристики виду (2.2) реалізуються досить просто блоками, що дозволяє відтворювати гіперболічні функції з обмеженнями.

2.3. Показники і перспективи застосування систем керування ПРОХІДНИЦЬКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

2.3.1. Показники систем керування бурінням

Показники, що характеризують застосування на прохідницьких щитах нових типів приводів і систем керування цими приводами, а також технологічних принципів оптимального керування бурінням у цілому приведені на осцилограмах (рис. 2.1). Для приводу системи ТП-ДПС регульовальна характеристика лінійна у всьому діапазоні регулювання, а механічні характеристики мають високу твердість від холостого ходу до номінального навантаження двигуна (180 А), що забезпечує точне відтворення заданих параметрів режиму. Навантаження двигуна, при якій зберігається твердість механічних характеристик, може бути значно збільшена підстроюванням вузла обмеження задатчика струму.

Перехідні процеси системи в режимах пуску, збільшення і зменшення навантаження відбуваються з високим заповненням токової діаграми, а величина перерегулювання під навантаженням складає не більш 2,5%. Тривалість пуску під навантаженням не перевищує 2,0-2,5 с. Характеристики задовольняють умовам роботи електропривода на бурових верстатах. На отриманих практично реалізаціях заданої статичної програми (мал. 5.16) показані задані 4, 4' і виконані 5, 5' програми керування бурінням. Пряма 2 є апроксимуючою лінією програми 5, а лінії 1 і 3 визначають границі зони помилки виконання цієї програми. Це показує, що точність реалізації програми досить висока і складає

приблизно 5%. Зниження точності реалізації цієї програми в діапазоні швидкостей $v \geq 12$ мм/с пояснюється в конкретному прикладі недостатньою твердістю характеристик приводу двигуна. При збільшенні твердості механічних характеристик цього приводу точність може бути значно підвищена.

Динамічні властивості систем керування, отримані під час нормальної експлуатації бурових верстатів, в основному відповідають обчисленим раніше перехідним процесам у цих системах (див. рис. 2.6.).

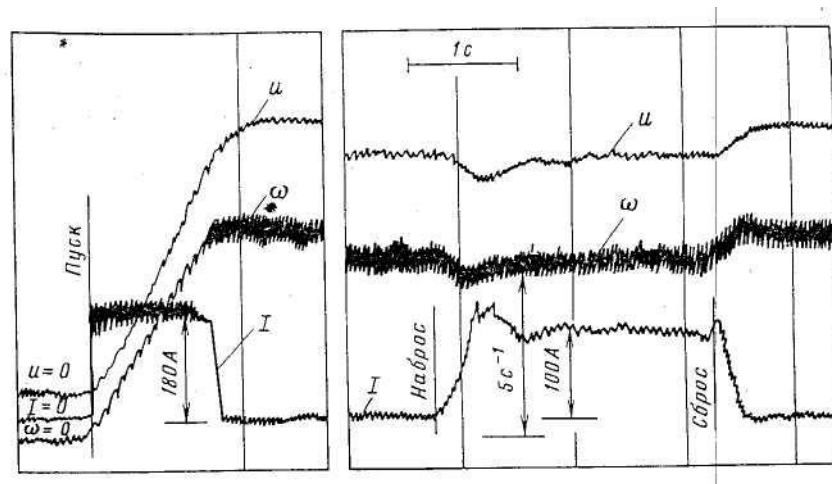


Рис. 2.9 - Осцилограма роботи приводу обертального механізму прохідницького щита

Перехідні функції $h(t)$ каналу $\omega-v$ системи керування мають монотонний характер. Час перехідного процесу складає 2-4 с, причому мається запізнювання $\tau = 0,3 \div 0,6$ с.

Тривалі спостереження при експлуатації автоматизованих прохідницьких щитах по породах з різними фізико-механічними властивостями ($f = 2 \div 22$) і типами бурового інструмента (переважно шарошечного) показали, що апаратура керування забезпечує необхідні значення і діапазони регулювання параметрів процесу буріння, а також стійку (у статиці і динаміці) роботу прохідницького щита в порівнянні з ручним керуванням. Застосування системи автоматизації практично доцільно також і при роботі щитів на геологічно однорідному масиві (блоці), тому що навіть у цьому випадку, незважаючи на удавану однорідність

порід, параметри проходки шпари в міру її поглиблення змінюються досить значно.

У загальному випадку застосування розроблених систем керування процесом буріння збільшує середню швидкість проходки шпар, тим самим підвищуючи продуктивність прохідницьких щитів. Крім того, збільшується стійкість доліт і знижується вартість проходки шпар. Перевагами автоматичного керування є також зниження аварійності, збільшення довговічності роботи механізмів щита і полегшення роботи бурової бригади.

Комбінована система керування, застосовувана на прохідницькому щиті при роботі в комплексі з тиристорним електроприводом, по експериментальним даним, дозволяє одержувати:

- тверді механічні характеристики приводу обертання обертально-подавального механізму;
- лінійні регульовальні характеристики приводу по всіх діапазонах частот;
- автоматичне регулювання режиму буріння у функції властивостей гірських порід;
- захист від надмірних вібрацій конструкцій прохідницького щита і перевантажень по обертальному моменту привода обертання робочого органа.

Апаратура керування для прохідницького щита має наступні практичні показники надійності: середній наробіток на відмовлення 1000-2000 ч, середній час відновлення 0,5-2 ч, коефіцієнт готовності - близько 0,998. Збільшення показників надійності апаратури зв'язано в основному з якістю її виготовлення і представляє резерв підвищення продуктивності буріння й економічної ефективності.

2.3.2. Перспективи застосування і розвитку систем

керування прохідницького щита

В даний час показники прохідницьких щитів стабілізувалися, але вони не є досить високими у світлі перспектив будівництва метрополітену. Обмеженням до подальшого росту продуктивності буріння є, крім іншого, конструктивні недоліки прохідницьких щитів.

Збільшення обсягу виробництва буде здійснюватися за рахунок росту продуктивності прохідницьких щитів при одночасному скороченні чисельності обслуговуючого персоналу. При цьому виробництво робіт буде ускладнюватися за рахунок того, що збільшиться глибина розрізів, зменшаться розміри уступів, зросте в середньому міцність порід, що складають розкриття. У цих умовах особливого значення набувають удосконалювання техніки, розробка методів і засобів керування цією технікою з погляду підвищення продуктивності і поліпшення умов експлуатації.

Розвиток техніки на базі накопиченого досвіду буріння, експериментальних і дослідницьких робіт і закордонного досвіду приведе до створення нового ряду прохідницьких щитів, оснащених сучасними машинами і механізмами, із поруч пристроїв, що дозволяють забезпечити високі техніко-економічні показники. До числа таких пристроїв відносяться насамперед пристрою керування процесом буріння, пристрою автоматизації допоміжних операцій, регульовані приводи основних механізмів щита. Вони дозволяють бурити на найвигідніших режимах роботи бурових верстатів у складним, мінливим випадковим образом умовах буріння. У той же час ці пристрої повинні задовольняти ряду суперечливих вимог (технічних, економічних, виробничих і т.д.). Таким чином, актуальна задача створення засобів керування сучасними буровими верстатами в умовах, що змінюються випадковим образом, їхньої експлуатації є сукупністю складних задач аналізу, синтезу, оптимізації, які можна вирішити лише на основі сучасних засобів і методів автоматики й обчислювальної техніки.

Розроблені в даний час системи керування служать для ведення процесу буріння при оптимальних значеннях параметрів режиму і заданих характеристик приводів. Вони дозволяють досягати екстремального значення прийнятого критерію ефективності (собівартості, енергоємності і т.п.).

У перспективі актуальною задачею є створення засобів для комплексної автоматизації процесу буріння.

Комплексна САК прохідницьким щитом повинна забезпечувати: буріння в автоматичному режимі по заздалегідь заданій програмі, автоматизацію допоміжних операцій, можливість застосування форсованого або полегшеного режиму. Крім того, комплексна САК повинна включати: систему коректування параметрів режиму, систему автоматичного забурювання шпари по особливій програмі, пристрою, що дозволяють формувати програму коректування в залежності від глибини шпари, систему автоматичного захисту від вібрацій, перевантажень по обертовому моменту і потужності.

У США вважають, що оптимальні параметри режиму буріння для одержання найвищої продуктивності прохідницьких щитів у перспективі необхідно буде вибирати при наявності постійного оперативного зв'язку між прохідницьким щитом і диспетчером. Для цього на прохідницьких щитах повинні використовуватися цифрові ЕОМ з набором інформації, обладнані друкувальними пристроями і встановлювані безпосередньо на щитах. Застосування таких ЕОМ можливе завдяки зниженню вартості електронного, устаткування і впровадженню інтегральних схем.

У майбутньому встане також задача створення систем оптимізації прохідницьких щитів на основі ЕОМ АСУ метрополітемом. При цьому ЕОМ повинна бути зв'язана з прохідницьким щитом по каналу зв'язку, на кожному з яких повинні бути встановлені датчики параметрів буріння. По сигналах датчиків ЕОМ розраховує параметри режиму буріння і передає них на кожен прохідницький щит.

У перспективі треба буде розв'язати задачу створення системи дистанційного керування прохідницьким щитом. Така система може бути виконана у виді самохідної кабіни з пультами керування, причому керування повинне здійснюватися диспетчерською групою. Переваги застосування таких систем - скорочення кількості обслуговуючого персоналу, поліпшення умов роботи операторів, підвищення продуктивності прохідницьким щитом.

Таким чином, у даний час створення автоматизованих щитів - один з перспективних напрямків у будівництві метрополітену

Прохідницькі комплекси звичайно використовуються при проведенні гірничих робіт в складних гірсько-геологічних умовах при слабких ґрунтах і породах, які потребують суцільного кріплення при забійного простору, а також при проведенні виробок, які знаходяться під спорудженнями і водоймами.

Основним елементом тунельного комплексу є тунельний щит. Щит тунелю - це рухома металева оболонка, яка використовується як нижній захисний прилад під час видобутку корисних копалин. Під захистом щита тунелю можна проводити всі тунельні операції: руйнувати гірські породи в панелі, очищати гірські породи та встановлювати кріплення за допомогою панельної перегородки. Рух захисного кожуха зазвичай здійснюється гідравлічним домкратом. Гідравлічний домкрат закріплюється на захисному кожусі і притуляється до фіксуючого пристрою за захисним кожухом, який встановлений за захисним кожухом.

Через необхідність використання міцної збірної або цільної монтажної рами потрібна екранування тунелю. Тунельні щити - дорогий набір обладнання, але вони значно покращують безпеку видобутку і збільшують швидкість розробки в 3-4 рази. При використанні тунельного екрану всі основні операції повністю механізовані.

При будівництві київського метрополітену для проходу перегінних тунелів використовується механізований комплекс КМ-24-0, який розроблений «ВТПІ

Трансстрой» для спорудження тунелів зі залізобетонною обробкою у середньостійких ґрунтах, сухих ґрунтах типу спондилових глин з обробкою, обжатою в породу.

При спорудженні перегінного тунелю протяжністю 2190 м комплексом КМ-24-0 була досягнута максимальна місячна швидкість проходки – 246 м,

середня швидкість проходки – 166.5 м. Аналіз проходки комплексом КМ-24-0 виявляє резерви збільшення швидкості проходки і зниження затрат праці.

До складу механізованого комплексу КМ-24-0 входять:

- механізований щит ЩМР – 1;
- тунельний блоковкладник ТУ – 7М;
- транспортер видавальний ТР – 38;
- транспортер основний ТР – 39М;
- рольганг – касета РК – 3А;
- перестановщик блоків ПБ – 3А;
- товкач верхній ТВ – 6А;
- візок допоміжний ДВ – 6А;
- передвижка платформа ПП – 13;
- передвижка платформа ПП – 16;
- стрілкова платформа ПП – 15А;
- ланки шляху ПП8А02000;
- електрообладнання.

Привод механізованого комплексу виконаний таким чином, щоб він забезпечував регулювання швидкості обертання робочого органа.

Забій розвивається обрізанням гірських порід. Кожен крок виконується 350 мм, після чого ріжуче тіло повертається у вихідне положення, а щит рухається до розгорнутої частини торця. Під час різання ґрунту розвинений ґрунт з панелі захоплюється ковшем ріжучого механізму і завантажується стрічкою на панельний конвеєр. Потім перевантажує розроблений ґрунт з конвеєра планки на основний конвеєр, а з головного конвеєра через укриття завантажує стрічку в машину. Ця схема забезпечує завантаження компонентів восьми візків без розщеплення. Завантажувальний бункер має відвальний штифт для перемикання потоку ґрунту з одного шляху на інший, що призводить до безперервного завантаження автомобіля. За щитом рухається спеціальний тунельний вкладник ТУ – 7, який переміщується по принципу крокування за допомогою двох гідравлічних домкратів, які розміщені в лотку по обидві сторони. Важіль встановлюється на кільцевій конструкції, що обертається, за рахунок чого щитовий транспортер ТР – 38 розміщується всередині цього перерізу і цим забезпечується видача ґрунту при розробці з монтажем кільця обробки, що значно скорочує час циклу робіт.

Блоки обробки підвозяться на блоковозах з обертальною рамою, які подаються до хвостової частини, де за допомогою перестановщика блоків перевантажуються на рольганг – касету для подачі під укладальний важіль блоків обробки. На рольганг – касеті набирається комплект блоків на одне кільце тунелю. Кільце збірної залізобетонної обробки тунелю шириною 1 м складається з семи блоків: лоткового – 55Л1, шести нормальних блоків 55Н2 і чотирьох вкладок В1. Рольганг має рухову раму і систему кулачків, за допомогою яких блоки подаються безпосередньо під захват блоковкладника. Монтаж кільця ведеться під захистом хвостового козирка щита. Він починається з лоткового блока, який вкладається на очищену поверхню підшви забою, нормальні блоки монтуються по чергово на кожну сторону. Блоки вище діаметра до замикання

кільця і його розжаття підтримуються видвижними блоками, які мають гвинтові домкрати. Розжате кільце обробки щільно прилягає до контуру виробки, чим ліквідує будівельний зазор і необхідність первинного нагнітання за обробку цементу.

Після розширення шлях евакуації був збільшений за рахунок протягування двох телескопічних ланцюгів, які з'єднують шлях на технологічній платформі із шляхом, закопаним у завершену частину тунелю. При переміщенні поверхні на 8 метрів телескопічні ланцюгові ланки рейки видаляються, а зварені ланцюгові ланки на металевих планках розміщуються і фіксуються основним методом..

3.2 Характеристика прохідницького щита

Механізований щит \varnothing 5.6 м з регулюючою швидкістю різання призначений для спорудження тунелів метрополітенів, гідротехнічних тунелів і тунелів другого призначення внутрішнім діаметром 5.5 м.

Область використання механізованого щита обхватує породи кріпостю від 30 до 350 кгс/см². Вказаний діапазон роботи щита можна також охарактеризувати коефіцієнтом кріпості по шкалі Протод'яконова в проміжку від $f=0,3$ до $f=3,5$. Допускається кріпость окремих включень по площині забою з $f=4$. Абразивність породи, яка розробляється, повинна бути не вище 18 мг (по класифікації Л.І.БарОна і А.В. Кузнецова). Виробка, яка розробляється механізованим щитом, має діаметр 5680 мм при литому і 5724 мм при зварювальному нижчеопорному кільці і може бути, при необхідності, односторонньо розширена для проходки тунелю на криволінійних ділянках. Щит використовується для проходки тунелю зі збірною залізобетонною обробкою, обжимаємою в породу, але може бути використаний як для звичайної збірної обробки, так і з монолітно пресованою бетонною обробкою. Найменший радіус повороту на кривій – 300 м. Механізованому щиту присвоєний індекс ЩРМ – 1.

Технічна характеристика щита ЩРМ – 1:

1. Зовнішній діаметр щита, мм	- 5684
2. Внутрішній діаметр щита, мм	- 5560
3. Довжина щита (без ротора), мм	- 4970
4. Повна довжина механізованого щита, мм	- 5940
5. Кількість щитових домкратів, шт.	- 16
6. Хід щитового домкрата, мм	- 1200
7. Зусилля прямого ходу щитового домкрата при тиску 19,6 МПа, кн.	- 960,4
8. Кількість розпирних пристроїв в щиті, шт.	- 120
9. Зусилля розпирного пристрою, кн.	- 960,4
10. Хід домкрата розпирного пристрою, мм	- 120
11. Хід видвигання елеронів щита, мм	- 150 і 250
12. Діаметр робочого органу (ротора), мм	- 5480
13. Швидкість обертання ротору – без ступенів регулювання, об/хв.	- 0,2 - 5,0
14. Номінальний момент на роторі, кН·м	- 864
15. Породоруйнуючий інструмент на роторі: а) пласкі ножі; б) армовані різці.	
16. Відстань між траєкторіями різання стрижневих	

різців, мм	- 40
17. Максимальна подача ротора на забій, мм	- 500
18. Кількість домкратів подачі ротора, шт.	- 2
19. Максимальне зусилля подачі, МН	- 1,99
20. Кількість стрижневих різців (всіх типів) на один комплект, шт.	- 98
21. Кількість плоских ножів (всіх типів) на один комплект, шт.	- 27
22. Продуктивність насоса копірного пристрою, л/хв.	- 18
23. Кількість опорних катків, шт.	- 8
24. Продуктивність насосної установки подачі, л/хв.	- 18
25. Продуктивність насосної установки для щитових домкратів, л/хв.	- 2*35
26. Найбільша величина видвигання копії – різця, мм	- 170
27. Привод робочого органу електричний від двох двигунів постійного струму типу ДП – 92 загальною потужністю $2*160=320$ кВт.	
Передавальні числа редукторів проміжного валу Ц2 – 1000 $i_1=50$ і нестандартного валу $i_2=3,05$	
28. Освітлення на щиті, В	- 12
29. Технічна продуктивність щита, пм/год	- 1,0-2,0
30. Зрошення	
31. Маса механізованого щита, т	- 187,2

Механізований щит представляє собою прохідницьке рухоме кріплення, під захистом якого розміщені механізми для руйнування породи, видачі її за межі щита і керування рухом щита.

Розробка забою виконується робочим органом роторного типу, забезпечений ножами і різцями для руйнування і відбору породи. Вибір схеми установки ножів і різців на ротор виконується в залежності від певних геологічних умов.

Ротор обертається двомоторним приводом постійного струму. Привід постійного струму дозволяє плавно регулювати швидкість обертання ротора, що дозволяє вибрати найбільш розумний спосіб руйнування поверхні.

Тому, наприклад, при роботі міцної пластини, коли зусилля для обертання робочого органу невеликі, може підтримуватися висока продуктивність механізму, збільшуючи тим самим кількість обертів ротора. Навпаки, при роботі в ґрунті, де схильна місцева стратифікація гірських порід, висока продуктивність може підтримуватися за рахунок зменшення числа обертань ротора. Передача моменту на ротор здійснюється через головний силовий редуктор від двохдвигунного привода постійного струму. Кожен з двох приводів складається з електродвигуна постійного струму і редуктора. Зв'язок між елементами приводу здійснюється через муфти.

Головний редуктор представляє собою нестандартну конструкцію, шестерні якого сприймають момент від редукторів Ц2-1000 і передають його на головний вал, зв'язаний з ротором.

В якості редуктора, який передає обертання від електродвигуна на основний вал силової коробки передач, була обрана двошвидкісна коробка передач С2-1000 з високошвидкісною вилкою. На роздвоєній високошвидкісній стадії двошвидкісної коробки передач колеса симетричні відносно опори, а концентрація навантаження по довжині зубів нижча порівняно з

використанням звичайних або серйозних рішень. Схема кінематики приводу захисного чохла робочого органу показана на рисунку 1.

Зв'язок між двигуном і коробкою передач здійснюється через еластичну муфту пальцево-пальцеву, яка має запобіжний клапан, який можна відрізати на водієві з максимально допустимим крутним моментом, щоб запобігти перевантаженню водія.

3.3 Привод механізованого щита

Через необхідність плавного регулювання частоти обертання ротора для керування механічним екраном вибирається двигун постійного струму. Таким чином, спосіб порізки гірських порід може бути більш глибоко підібраний відповідно до його гірничо-геологічних характеристик. Привід розміщений на звареній та відлитій конструкції пластині, яка може рухатися по напрямній рейці, посиленій текстильним матеріалом.

Каркасна пластина подається на робочу поверхню разом з ротором через два гнізда подачі, задні кронштейни двох гнізд подачі закріплені на екранованій металевій конструкції, а передня частина закріплена на рамі. Після введення ротора в робочу поверхню гідравлічні домкрати переміщуються у вихідне положення разом з рамою через зворотний хід цих гідравлічних домкратів, і всі обертання ротора вперед і назад у вихідне положення повинні виконуватися при обертанні робочого органу.

Як показав досвід, головним недоліком необмеженого електроприводу приводу є те, що при виконанні технічних операцій велика кількість часу зосереджується на основному двигуні. Це скоротить загальний термін служби двигуна та водія. Нерегульовані електроприводи також не можуть забезпечити найкращі параметри різання та максимальну продуктивність.

Виходячи з вищевикладеного, у цій статті передбачено використання регульованого електроприводу виконавчого механізму. Усуваючи пусковий

струм і пікове навантаження, привід покращить умови роботи мережі електроживлення.

3.4 Розрахунок елементів електроприводу

3.4.1 Вибір і перевірка двигунів привода обертання ротора

В якості двигунів привода обертання ротора щита передбачується використання двох двигунів постійного струму змішаного збудження ДП-92, які мають наступні технічні характеристики :

- номінальна потужність, кВт	- 160
- номінальна напруга якорного ланцюга, В	- 440
- номінальний струм якоря, А	- 405
- номінальна швидкість обертання, об/хв	- 430
- момент інерції якоря, кг·м ²	- 32,5
- номінальна напруга незалежної обмотки збудження, В	- 220
- номінальний струм незалежної обмотки збудження, А	- 3,6
- опір обмотки якоря, Ом	- 0,0157
- опір послідовної обмотки збудження, Ом	- 0,0069
- опір обмотки додаткових полюсів, Ом	- 0,013
- опір незалежної обмотки збудження, Ом	- 49
- число полюсів :	

головних $2p=4$

додаткових $2p=4$

- число активних провідників якоря	- 960
------------------------------------	-------

- число паралельних віток якоря

- $2a=8$

- число витків незалежної обмотки збудження

- 2470

На рис.4.5 представлена залежність магнітного потоку від магніторушійної сили збудження двигуна при номінальному струмі якоря.

3.4.2 Визначення моменту на валу робочого органа

1) При регулюванні швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 1,8 об/хв незалежні обмотки збудження головних двигунів включаються послідовно на напругу 220 В і момент на роторі дорівнює :

$$M_{p.o.1} = n \cdot \frac{P_{н.д}}{0,105 \cdot n_{н.д}} \cdot i_p \cdot \eta_c = 2 \cdot \frac{160 \cdot 10^3}{0,105 \cdot 430} \cdot 152,5 \cdot 0,8 = 865 \text{ кН} \cdot \text{м} ,$$

де n – кількість двигунів в установці;

$P_{н.д.}$ - номінальна потужність двигуна , кВт;

$i_p = i_1 \cdot i_2 = 50 \cdot 3,05 = 152,5$ - передавальне число редуктора;

η_c – ККД установки; $n_{н.д.}$ - номінальна швидкість обертання, об/хв.

2) При регулюванні швидкості обертання ротора в проміжку від 0,2

до 5 об/хв незалежні обмотки збудження головних двигунів включаються послідовно на напругу 220 В і момент на роторі дорівнює :

$$M_{p.o.2} = n \cdot \frac{P_{н.д}}{0,105 \cdot n_{д}} \cdot i_p \cdot \eta_c = 2 \cdot \frac{160 \cdot 10^3}{0,105 \cdot 762} \cdot 152,5 \cdot 0,8 = 488 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

3.4.3 Визначення приведенного моменту інерції установки на валу двигуна.

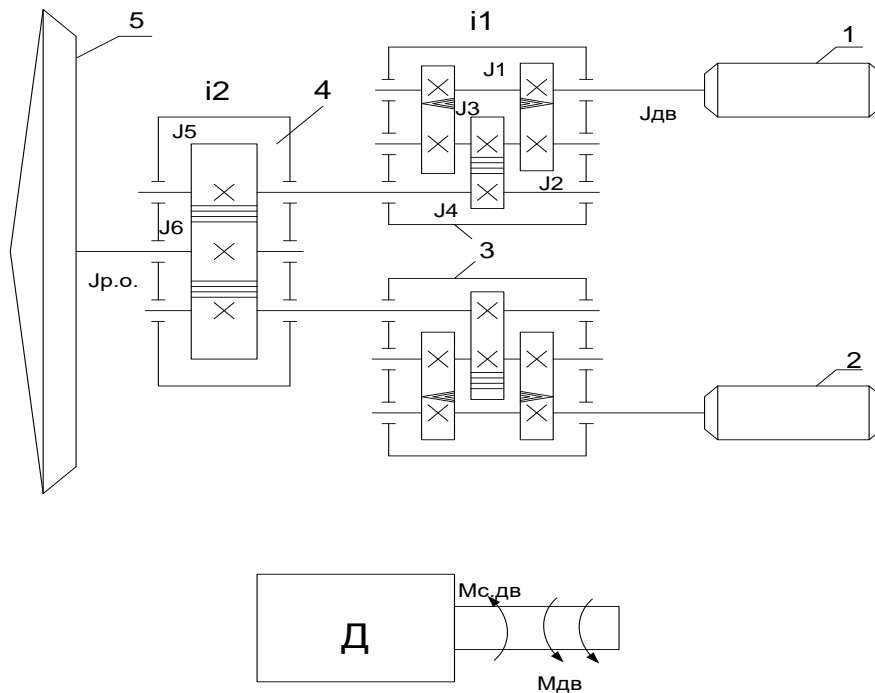


Рис. 3.2 - Кінематична схема привода робочого органа прохідницького щита ЩМР-1.

1,2 – електродвигуни;

3 – редуктор Ц2-1000;

4 – головний редуктор;

5 – виконуючий орган.

$$J_{np.} = J_{дв} + 2 \cdot J_1 + 2 \cdot J_2 \cdot \frac{1}{i_{11}^2} + J_3 \cdot \frac{1}{i_{11}^2} + J_4 \cdot \frac{1}{i_1^2} + J_5 \cdot \frac{1}{i_{11}^2} + J_6 \cdot \frac{1}{n \cdot i_1^2 \cdot i_3^2} + J_{p.o.} \cdot \frac{1}{n \cdot i_1^2 \cdot i_2^2} = 32,5 + 2 \cdot 12,8 +$$

$$+ 2 \cdot 31,6 \cdot \frac{1}{5^2} + 63,2 \cdot \frac{1}{5^2} + 126,4 \cdot \frac{1}{50^2} + 253 \cdot \frac{1}{2 \cdot 50^2 \cdot 3,05^2} + 31600 \cdot \frac{1}{2 \cdot 50^2 \cdot 3,05^2} = 64 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

де n – кількість двигунів в установці;

$J_{дв}$ - момент інерції якоря двигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_{p.o}$ - момент інерції робочого органа, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6$ - моменти інерції шестерень редукторів, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

Приймаємо трьохперіодну діаграму швидкостей, прискорень, моментів і струмів.

1) Регулювання швидкості обертання робочого органа в інтервалі від 0,2 до 2,8 об/хв.

$$t_{11} = \frac{n_n \cdot 0,105}{\varepsilon_1} = \frac{430 \cdot 0,105}{10} = 4,52 \text{ с};$$

ε_1 – умовне прискорення на валу двигуна, с^{-2} ;

$$M_{11} = M_{c.дв.1} + J_{пр} \cdot \varepsilon_1 = 3540 + 64 \cdot 10 = 4,18 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

де $M_{c.дв.1}$ – статичний момент на валу двигуна, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

$$M_{21} = M_{c.дв.1} = 3,51 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$I_{11} = \frac{M_{11} \cdot \varepsilon_1 \cdot t_{11}}{U_n} = \frac{4180 \cdot 10 \cdot 4,52}{440} = 429 \text{ А};$$

$$I_{21} = \frac{M_{c.дв.1} \cdot n_1 \cdot 0,105}{U_n} = \frac{3540 \cdot 430 \cdot 0,105}{440} = 363 \text{ А}.$$

Гальмування здійснюємо вільним вибігом.

Перевірка двигуна за умовою нагріву:

- еквівалентний момент

$$M_{екв.1} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{T}} = \sqrt{\frac{4180^2 \cdot 4,52 + 3540^2 \cdot 600}{4,56 + 600}} = 3,54 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

- ефективна потужність

$$P_{\text{эф.1}} = M_{\text{екв.1}} \cdot \omega_{\text{max}} = 3,54 \cdot 430 \cdot 0,105 = 160 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{н.дв.}} = 160 \geq \gamma \cdot \frac{M_{\text{max}} \cdot \omega_{\text{max}}}{\lambda \cdot \eta_c} = 1 \cdot \frac{4180 \cdot 430 \cdot 0,105}{1,8 \cdot 0,8} = 131,1 \text{ кВт},$$

де $P_{\text{н.дв}}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

M_{max} – максимальний момент із діаграми, Н·м;

λ – перевантажувальна здатність двигуна;

η_c – КПД установки.

1) Регулювання швидкості обертання робочого органа в інтервалі від 0,2 до 5 об/хв.

$$t_{12} = n_{\text{дв}} \cdot 0,105 / \varepsilon_1 = 762 \cdot 0,105 / 10 = 8 \text{ с};$$

$$M_{12} = M_{\text{с.дв.2}} + J_{\text{пр}} \cdot \varepsilon_1 = 2000 + 64 \cdot 10 = 2,64 \text{ кН·м};$$

$$M_{22} = M_{\text{с.дв.2}} = 2,0 \text{ кН·м};$$

$$I_{12} = \frac{M_{12} \cdot \varepsilon_1 \cdot t_{12}}{U_{\text{н}}} = \frac{2640 \cdot 10 \cdot 8}{440} = 480 \text{ А};$$

$$I_{22} = I_{\text{с.дв.2}} = \frac{M_{\text{с.дв.2}} \cdot n_{\text{дв}} \cdot 0,105}{U_{\text{н}}} = \frac{2000 \cdot 762 \cdot 0,105}{440} = 364 \text{ А};$$

$$M_{\text{екв.2}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{T}} = \sqrt{\frac{2640^2 \cdot 8 + 2000^2 \cdot 600}{8 + 600}} = 2,0 \text{ кН·м};$$

$$P_{\text{екв.2}} = M_{\text{екв.2}} \cdot \omega_{\text{max}} = 2,0 \cdot 762 \cdot 0,105 = 160 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{н.д.}} = P_{\text{екв.2}} = 160 \text{ кВт}.$$

Перевірка двигуна по перевантажувальній здатності:

$$P_{\text{н.дв.}} = 160 \geq \gamma \cdot \frac{M_{\text{max}} \cdot \omega_{\text{max}}}{\lambda \cdot \eta_c} = 1 \cdot \frac{2640 \cdot 762 \cdot 0,105}{1,8 \cdot 0,8} = 146,7 \text{ кВт},$$

де $\gamma=1$ при плавному регулюванні пускового моменту.

3.4.2 Розрахунок і вибір обладнання привода.

Вибираємо тиристорний перетворювач КТЕ-500/400 виходячи з наступних умов:

$$I_{2H} \geq I_{H,д} \Rightarrow 500 > 405 \text{ А}; U_{2H} \geq U_{H,д} \Rightarrow 440 \text{ В};$$

$$K_{\pi} \cdot I_{2H} > I_{\max,д} \Rightarrow 2 \cdot 500 = 1000 > 480 \text{ А},$$

де I_{2H} і U_{2H} – відповідно номінальні значення струму і напруги тиристорного перетворювача;

$I_{\max,д}$ – максимальний струм двигуна (з навантажувальної діаграми);

K_{π} – коефіцієнт допустимого перевантаження протягом 15 сек.

Номінальна напруга мережі тиристорного перетворювача 0,38 кВ.

Розрахункова потужність силового трансформатора $S_T = n \cdot P_{H,д} = 2 \cdot 160 = 320 \text{ кВА}$,

де n – кількість двигунів в установці;

$P_{H,д}$ - номінальна потужність двигуна, кВт.

По розрахунковим параметрам S_T , U_{2HT} , I_{2HT} , I_2 вибираємо з каталогу шахтну передвижну трансформаторну підстанцію ТКШВП-320/6, яка має наступні параметри:

- номінальна потужність $S_{H,T} = 320 \text{ кВА}$;
- напруга Х.Х. високої сторони $U_{1H.X.X.} = 6 \text{ кВ}$;
- напруга Х.Х. низької сторони $U_{2H.X.X.} = 0,4 \text{ кВ}$;
- номінальний струм високої сторони $I_{1H} = 30,8 \text{ А}$;
- номінальний струм низької сторони $I_{2H} = 462 \text{ А}$;

- напруга короткого замикання $e_{\kappa\%}=2,5\%$;

- втрати короткого замикання при $\cos\varphi=1$ $\Delta P_M=2630$ Вт.

Активний опір трансформатора:

$$r_T = \frac{\Delta P_M}{3 \cdot I_{2HT}^2} = \frac{2630}{3 \cdot 462^2} = 4,11 \text{ мОм};$$

Реактивний опір трансформатора:

$$x_T = \frac{e_{\kappa\%} \cdot U_{2H.X.X.}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{2H}} = \frac{2,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 462} = 12,5 \text{ мОм}.$$

Реактор згладжування вибираємо по струму $I_{H.P.3} \geq I_{2H}$, а потрібну індуктивність за формулою

$$L_{P.3} = \frac{8,8 \cdot E_{d0H}}{\delta \cdot I_{2H} \cdot 10^3} - L_{\partial B} = \frac{8,8 \cdot 540}{2,25 \cdot 500 \cdot 10^3} - 3,61 \cdot 10^{-3} = 0,614 \text{ мГн};$$

$$\text{де } E_{d0H} = U_{2H.X.X.} \cdot K_{CX} = 400 \cdot 1,35 = 540 \text{ В};$$

$\delta=2,25$ – допустима величина пульсацій струму при номінальній частоті обертання вала двигуна постійного струму;

$L_{дв}$ – індуктивність двигуна, яка дорівнює:

$$L_{дв} = \frac{\gamma \cdot U_{H.дв}}{I_{H.дв} \cdot \omega_n \cdot p} = \frac{0,3 \cdot 440}{405 \cdot 430 \cdot 0,105 \cdot 2} = 3,61 \text{ мГн},$$

де γ – коефіцієнт, рівний $0,3 \dots 0,4$ для некомпенсованих двигунів постійного струму;

p – число пар полюсів.

По цим даним вибираємо згладжуючий реактор типу: ФРОС-125/0,5УЗ,
який має наступні параметри:

- номінальний струм, А

- 500

- номінальна індуктивність, мГн - 0,75

- номінальний опір, мОм - 3

Еквівалентний опір ланцюга постійного струму

$$R_{\epsilon} = R_{\text{дв}} + 2 \cdot R_{\text{T}} + R_{\text{рз}} + R_{\text{зп}} + \Sigma R_{\text{вент}} + m \cdot X_{\text{T}} / 2 \cdot \pi = 0,0441 + 2 \cdot 0,00411 + 0,003 + 0,007 + 2 \cdot 0,00247 + 6 \cdot 0,0125 / 2 \cdot 3,14 = 79,2 \text{ мОм},$$

$$\text{де } R_{\text{дв}} = (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{п}}) \cdot K\tau = (0,0157 + 0,013 + 0,0069) \cdot 1,24 = 0,0441 \text{ Ом};$$

$R_{\text{я}}$ – опір обмотки якоря, Ом;

$R_{\text{дп}}$ – опір обмотки додаткових полюсів, Ом;

$R_{\text{п}}$ – опір послідовної обмотки збудження, Ом;

$K\tau = 1,24$ – коефіцієнт приведення опору мідних обмоток до температури 80°C;

$R_{\text{вент}}$ – опір вентиля, який дорівнює:

$$R_{\text{вент}} = \frac{\Delta U_{\text{в}}}{I_{\text{н.дв}}} = \frac{1}{405} = 2,47 \text{ мОм},$$

де $\Delta U_{\text{в}}$ – падіння напруги на вентилі, В;

$R_{\text{зп}}$ - опір з'єднувальних проводів, Ом;

m – число фаз випрямляча.

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга

$$L_{\epsilon} = L_{\text{дв}} + 2 \cdot L_{\text{T}} + L_{\text{рз}} = 3,61 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,0125 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50) + 0,75 \cdot 10^{-3} = 4,44 \text{ мГн}.$$

Електромагнітна постійна часу ланцюга випрямленого струму

$$T_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{R_{\epsilon}} = \frac{4,44 \cdot 10^{-3}}{79,2 \cdot 10^{-3}} = 0,0561 \text{ с}.$$

3.4.3 Структурна схема розімкнутої системи

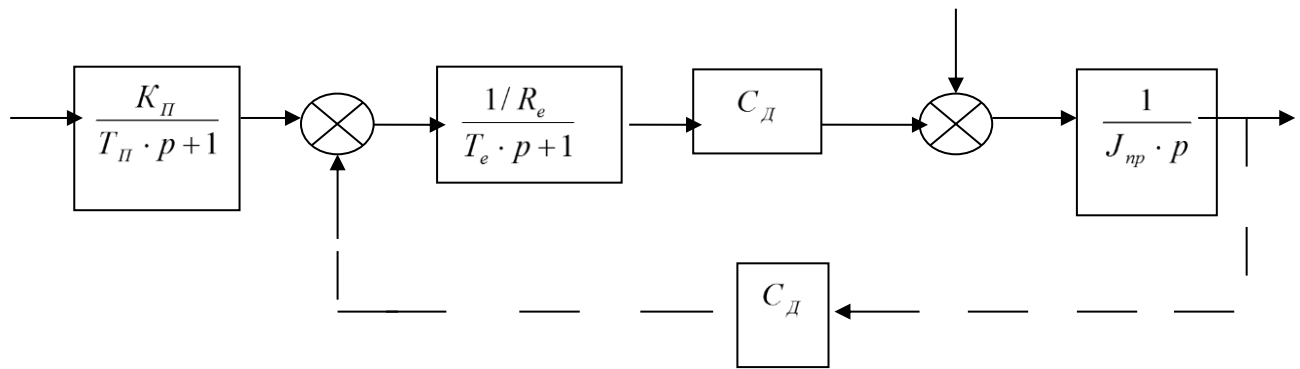


Рис. 3.4 – Структурна схема розімкнутої системи

Визначення постійної двигуна C_D :

1) При регулюванні швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 2,8 об/хв.

Номінальний потік збудження електродвигуна:

$$\Phi_{3,н} = \frac{E_n \cdot 6000}{\frac{p}{a} \cdot N \cdot n_n} \cdot 10^{-2} = \frac{420 \cdot 6000}{\frac{2}{4} \cdot 960 \cdot 430} \cdot 10^{-2} = 12,21 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{с},$$

де E_n – ЕРС якоря, яка дорівнює:

$$E_n = U_n - I_{2н} \cdot (R_{я} + R_{дп} + R_{п}) \cdot K\tau - \Delta U_{щ} = 440 - 405 \cdot (0,0157 + 0,0069 + 0,013) \cdot 1,24 - 2 = 420 \text{ В};$$

U_n - номінальна напруга якорного ланцюга, В;

$I_{2н}$ – номінальний струм якоря, А;

$\Delta U_{щ}$ – падіння напруги під щітками, В;

p – число пар полюсів;

a - число пар паралельних ланцюгів обмотки якоря;

N – число активних провідників якоря;

n_n – номінальна швидкість обертання якоря, об/хв.

Із залежності $\Phi_3=f(F_3)$, побудованій на рис.5.4, по $\Phi_{3,n}$ визначаємо номінальну магніторушійну силу $F_{3,n}=8,9 \cdot 10^3$ А·витків, яку також можна знайти із виразу:

$$F_{3,n}=I_{3,n} \cdot W_3=3,6 \cdot 2470=8,89 \cdot 10^3 \text{ А·витків},$$

де $I_{3,n}$ – номінальний струм незалежної обмотки збудження, А;

W_3 – число витків незалежної обмотки збудження.

Необхідна напруга на незалежній обмотці збудження

$$U_{3,n}=I_{3,n} \cdot R_3 \cdot K_t=3,6 \cdot 49 \cdot 1,24 \approx 220 \text{ В},$$

де R_3 – опір незалежної обмотки збудження, Ом.

Конструктивний коефіцієнт двигуна рівний:

$$C=\frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}=\frac{2 \cdot 960}{2 \cdot 3,14 \cdot 4}=76,4$$

$$C_{d1}=C \cdot \Phi_{3,n}=76,4 \cdot 12,21 \cdot 10^{-2}=9,33 \text{ В·с}.$$

2) При регулюванні швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 5 об/хв.

Потік збудження електродвигуна при ослабленому полі:

$$\Phi_3=\Phi_{3,n} \cdot \frac{n_n}{n}=12,21 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{430}{762}=6,9 \cdot 10^{-2} \text{ В·с},$$

де n – швидкість обертання якоря, яка відповідає 5 об/хв. швидкості обертання робочого органа.

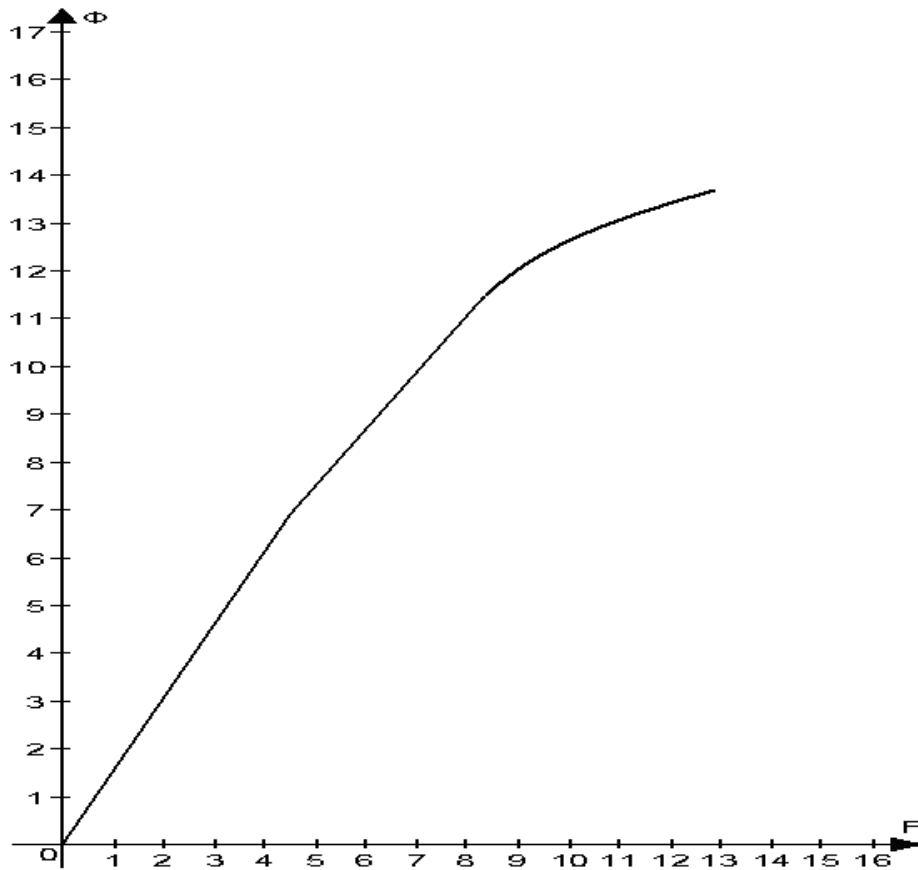


Рис.3.5 - Залежність магнітного потоку від магніторухійної сили збудження двигуна при номінальному струмі якоря.

Із рис. 3.5 визначаємо $F_z = 4,45 \cdot 10^3$ А·витків.

Струм збудження дорівнює:

$$I_z = \frac{F_z}{W_z} = \frac{4,45 \cdot 10^3}{2470} = 1,8 \text{ А.}$$

Необхідна напруга на незалежній обмотці збудження

$$U_{z.n} = I_{z.n} \cdot R_z \cdot K_t = 1,8 \cdot 49 \cdot 1,24 \approx 110 \text{ В.}$$

$$C_{д1} = C \cdot \Phi_{z.n} = 76,4 \cdot 6,9 \cdot 10^{-2} = 5,27 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

$T_{п} = 0,01$ с – постійна часу тиристорного перетворювача.

Коефіцієнт зусилля тиристорного перетворювача K_{Π} визначаємо на основі СІФК і напруги живлення перетворювача: напруга вторинної обмотки силового трансформатора U_{2HT} . Для цього, в першому квадранті (рис.3.5) будуємо характеристику $E_d(\alpha)$ по формулі:

$$E_d = K_{cx} \cdot U_{2HT} \cdot \cos \alpha = 1.35 \cdot 400 \cdot \cos \alpha = 540 \cdot \cos \alpha.$$

В четвертому квадранті будуємо характеристику СІФК при зміні кута α від 0 до 90°

В третьому квадранті проводимо лінію під кутом 45° , а в другому квадранті отримуємо результуючу характеристику $E_d(U_y)$, по якій визначаємо коефіцієнт перетворювача:

$$K_{\Pi} = \frac{\Delta E_d}{\Delta U_y} = \frac{140}{2} = 70,$$

де U_y – напруга керування тиристорним перетворювачем.

3.4.4 Вибір датчика швидкості і струму.

В якості датчика швидкості використовуємо тахогенератор постійного струму ПТ-32 : $P_H = 1$ кВт; $n_H = 3000$ об/хв.; $U_H = 200$ В; $R_H = 2$ кОм.

Для гальванічної розв'язки вихідного сигналу з тахогенератора використовуємо датчик напруги – комірку ДН-2АИ апаратури УБСР-АИ (рис.3.7). Датчик напруги має коефіцієнт передачі $K_{удн} = 0,6 - 1,0$

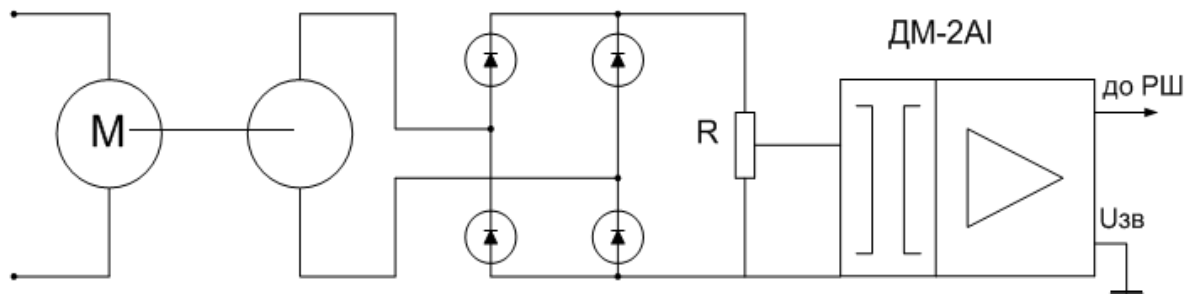


Рис. 3.7 - Датчик напруги

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{p.\max}}{0,105 \cdot n_{\phi}} = \frac{8}{0,105 \cdot 762} = 0,1 ,$$

де $U_{p.\max}$ – сигнал максимальної напруги керування, $U_y = U_{зш}$, В.

Коефіцієнт передачі потенціометра R:

$$\gamma_{\Pi} = \frac{K_c \cdot 0,105 \cdot n_{\phi}}{U_{н.тг}} = \frac{0,1 \cdot 0,105 \cdot 762}{200} = 0,04 ,$$

де $U_{н.тг}$ – номінальна напруга тахогенератора, В.

Регульований опір, який виставляється потенціометром R, визначимо за формулою

$$R_p = \gamma_{\Pi} \cdot R = 0,04 \cdot 2000 = 80 \text{ Ом.}$$

В якості датчика струму приймемо шунт. Шунт являється стандартним резистором з малим опором, розрахованим на номінальний струм 500 А, при якому падіння напруги на ньому складає 75 мВ. Для підключення до схеми керування сигнал з шунта подаємо через пристрій з гальванічною розв'язкою і підсилюємо цей сигнал до 8 В. Цьому повністю відповідає стандартний датчик струму ДТ-2АІ (рис.4.8).

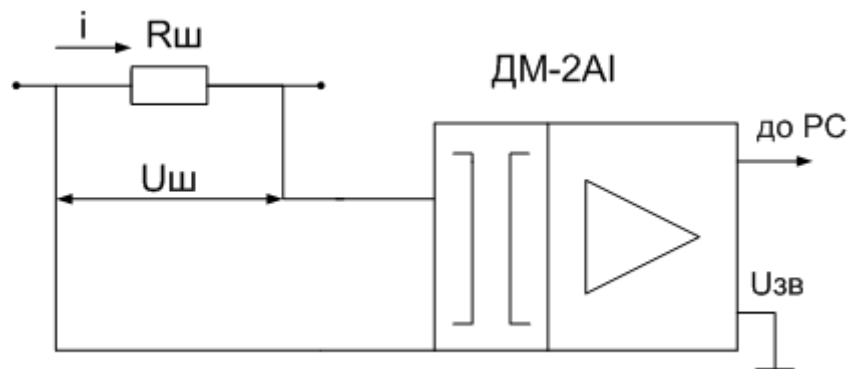


Рис.3.8 - датчик струму

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$K_c = \frac{U_{зс.мах}}{I_{мах}} = \frac{8}{480} = 0,0167 ,$$

де $U_{зс.мах}$ – максимальна напруга зворотного зв'язку по струму, $U_y = U_{зс}$, В.

$I_{мах}$ – максимальний струм з навантажувальної діаграми, А.

Коефіцієнт передачі шунта:

$$K_{ш} = \frac{U_{ш.ном}}{I_{ш.ном}} = \frac{0,075}{500} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

Коефіцієнт передачі підсилювача:

$$K_{п} = \frac{K_c}{K_{ш}} = \frac{0,0167}{1,5 \cdot 10^{-4}} = 111,3$$

3.5 Розрахунок системи підлеглого керування

Характерним напрямком в теперішній час являється створення уніфікованих систем підлеглого керування з регуляторами, побудованими на операційних підсилювачах постійного струму. Вітчизняні уніфіковані блочні системи

регулювання (УБСР) і комплексні пристрої керування електроприводами на їх основі розроблені в ВНП Електропривода під керівництвом доктора технічних наук О.В. Сліпсановського. До складу УБСР входять, крім

операційних підсилювачів, блоки живлення, датчики струму і напруги, задачник інтенсивності, нелінійні елементи і ін. Елементна база УБСР – напівпровідники і інтегральні схеми.

Основні переваги системи управління включають досягнення необхідної високої точності передавальної функції для забезпечення необхідної якості управління; можливість незалежного регулювання змінних та регулювання контуру (починаючи з першого внутрішнього контуру) значно спрощує розрахунки; впровадження та конфігурація системи ; Управління підсилювачем низької потужності, що дозволяє використовувати невеликі датчики та контролери

Споживання енергії. Крім того, важливою перевагою системи управління є те, що вона може легко обмежувати будь-які контрольні координати системи. З цією метою необхідно лише обмежити вихідну напругу регулятора, що є завданням координати.

Починаючи з внутрішнього рівня, розрахунок підпорядкованої системи управління зводиться до визначення типу контролера та параметрів елементів даних контролера, а також оптимізації послідовності окремих схем. Засоби оптимізації дозволяють забезпечити відповідність передавальної функції замкнутого циклу вимогам. Вимоги до системи управління та конкретні параметри регулювання зумовлені роботою регульовального електроприводу.

У цьому проекті система управління приводом щита тунелю повинна відповідати наступним вимогам: - автоматична підтримка заданих режимів роботи електропривода в залежності від умов проходки;

- наявність автоматичних блокувань при недопустимих режимах роботи механізмів прохідницького щита (заклинювання робочого органа, вивали і т.д.).

Виходячи із вище сказаного, в даному проекті використовується система підлеглого керування ТП-Д (тиристорний перетворювач – двигун). Апаратура керування системи виконана на базі блоків апаратури УБСР-АІ. На рис. 4.9 представлена замкнута система автоматичного керування електропривода.

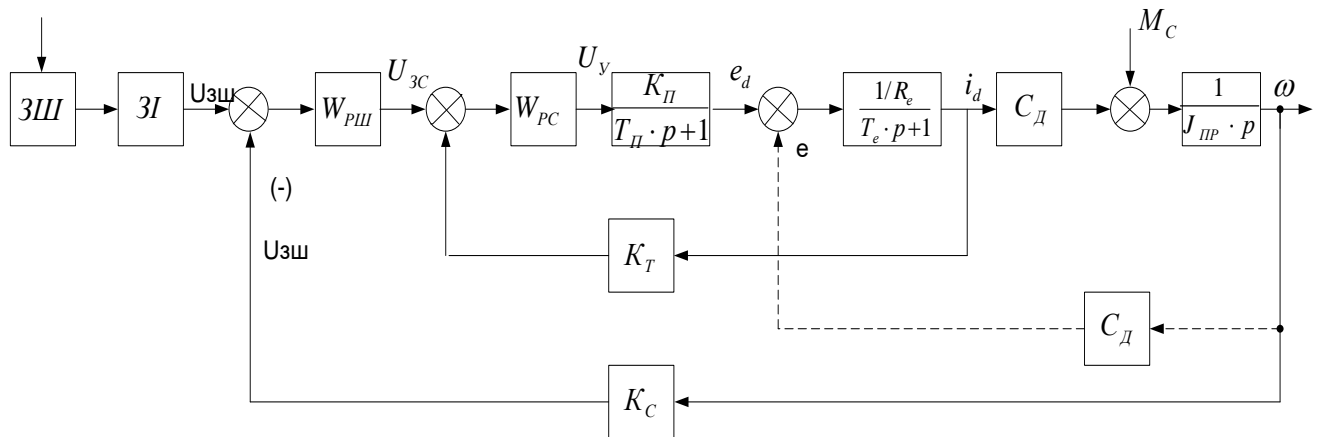


Рис.3.9 – система замкнутого автоматичного керування електропривода.

3.5.1 Розрахунок параметрів регулятора струму

Передавальна функція підсилювача:

$$W_{A3} = \frac{T_e \cdot p + 1}{T_{i1} \cdot p} = \frac{R_{oi} \cdot C \cdot p + 1}{\alpha \cdot R_{gx} \cdot C \cdot p} = \frac{0,0561 \cdot p + 1}{0,295 \cdot p},$$

де $T_{i1} = 2 \cdot T_{п} \cdot K_{т} / R_e = 2 \cdot 0,01 \cdot 70 \cdot 0,0167 / 79,2 \cdot 10^{-3} = 0,295$;

$R_{вх}$ – вхідний опір регуляторів АЗ;

R_{oi} – опір ланцюга зворотного зв'язку регулятора. Приймаючи значення $C = 10$ мкФ, визначаємо $R_{вх}$ при $\alpha = 0,5$:

$$R_{\text{вх}} = \frac{T_{il}}{\alpha \cdot C} = \frac{0,295}{0,5 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 59 \text{ кОм.}$$

Приймаємо $R_{\text{вх}}$ близьке до розрахункового і уточнюємо вставку α :

$$\alpha = \frac{T_{il}}{R_{\text{вх}} \cdot C} = \frac{0,295}{62 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0,48.$$

Опір у ланцюзі зворотного зв'язку регулятора

$$R_{oi} = \frac{T_e}{C} = \frac{0,0561}{10 \cdot 10^{-6}} = 5,61 \text{ ком.}$$

За допомогою R37 встановлюємо 5.61 кОм.

3.5.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Так як не вимагається астатична характеристика, то приймаємо П - регулятор швидкості.

Передавальна функція П-регулятора швидкості :

1) при регулюванні швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 2,8 об/хв.

$$W'_{\text{pc}}(p) = K'_{\text{pc}} = \frac{K_T \cdot J_{np}}{4 \cdot T_{II} \cdot C_{д1} \cdot K_C} = \frac{0,0167 \cdot 64}{4 \cdot 0,01 \cdot 9,33 \cdot 0,1} = 28,6$$

Уставка резистора R_o у ланцюзі підсилювача А4

$$R_o = R34 \cdot (K_{A4} - 1) = 30 \cdot (2 - 1) = 30 \text{ кОм.}$$

Сумування сигналів завдання і зворотного зв'язку по швидкості виконуємо на підсилювачі А1 з коефіцієнтом передачі, який дорівнює

$$K'_{A1} = \frac{K'_{PC}}{K_{A4}} = \frac{28,6}{2} = 14,3$$

$$K'_{A1} = \frac{\sum R_{OC.A1}}{\alpha \cdot R_{BX}} \Rightarrow \sum R_{OC.A1} = K'_{A1} \cdot \alpha \cdot R_{BX} = 14,3 \cdot 0,5 \cdot 10,2 = 72,9 \text{ кОм.}$$

На підсилювачі А1 збираємо

$$\sum R_{OC.A1} = R_{14} + R_{18} = 27 + 51 = 78 \text{ кОм.}$$

$$\text{Тоді } \alpha_1 = \frac{\sum R_{OC.A1}}{K'_{A1} \cdot R_{BX}} = \frac{78}{14,3 \cdot 10,2} = 0,53$$

Потенціометром R33 встановлюємо опорну напругу обмеження

$$U_{ог} = I_{\max} \cdot K_T = 429 \cdot 0,0167 = 7,16 \text{ В.}$$

2) При регулюванні швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 5 об/хв.

$$W''_{pc(p)} = K''_{pc} = \frac{K_T \cdot J_{np}}{4 \cdot T_{II} \cdot C_{д2} \cdot K_C} = \frac{0,0167 \cdot 64}{4 \cdot 0,01 \cdot 5,27 \cdot 0,1} = 50,7$$

$$K''_{A1} = \frac{K''_{PC}}{K_{A4}} = \frac{50,7}{2} = 25,4$$

$$A_2 = \frac{\sum R_{OC.A1}}{K''_{A1} \cdot R_{BX}} = \frac{78}{25,4 \cdot 10,2} = 0,3$$

Потенціометром R33 встановлюємо опорну напругу обмеження

$$U_{ог} = I_{\max} \cdot K_T = 480 \cdot 0,0167 = 8,0 \text{ В.}$$

3.5.3 Вибір параметрів задавального пристрою

Для того, щоб сформувати графік необхідної швидкості технічного обслуговування для даного прискорення, ми використовували задатчик інтенсивності, яка перетворює швидко змінювану напругу в лінійну $U_{zh}(t)$.

Очікуване значення U_{op} визначається відомим значенням прискорення ε :

$$U_{op} = K_\varepsilon \cdot T_i \cdot \varepsilon_1 = 0,1 \cdot 0,396 \cdot 10 = 0,396 \text{ В},$$

де $T_i = R_{18} \cdot C_7 = 120 \cdot 10^3 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 0,396 \text{ с}$ – постійна інтегрування контуру А2.

3.6 Побудова характеристик системи

3.6.1 Побудова статичної характеристики розімкнутої системи

1) Регулювання швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 2,8 об/хв.

Потрібна напруга завдання на вході СІФК тиристорного перетворювача

$$U_3 = \frac{C_{д1} \cdot \omega_{он}}{K_{II}} = \frac{9,33 \cdot 47,2}{70} = 6,29 \text{ В},$$

де $\omega_{он} = U_H / C_{д1} = 440 / 9,33 = 47,2 \text{ с}^{-1}$;

U_H – номінальна напруга якірного ланцюга двигуна, В.

Електромеханічну характеристику будуємо, використовуючи вираз:

$$\omega = \frac{K_{II} \cdot U_3 - i_d \cdot R_e}{C_{д1}} = \frac{70 \cdot 6,29 - 79,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_d}{9,33} = 47,2 - 8,49 \cdot 10^{-3} \cdot i_d$$

Задаючись значеннями i_d , будуємо електромеханічну характеристику розімкнутої системи ТП-Д. Характеристика показана на рис. 5.9 ($\omega(i_d)$ - крива 1).

2) Регулювання швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 5 об/хв.

$$U_3 = \frac{C_{д2} \cdot \omega_o}{K_{п}} = \frac{5,27 \cdot 83,5}{70} = 6,29 \text{ В},$$

де $\omega_o = U_H / C_{д2} = 440 / 5,27 = 83,5 \text{ с}^{-1}$;

$$\omega = \frac{K_{п} \cdot U_3 - i_d \cdot R_e}{C_{д1}} = \frac{70 \cdot 6,29 - 79,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_d}{5,27} = 83,5 - 15,03 \cdot 10^{-3} \cdot i_d$$

Характеристика показана на рис. 4.9 ($\omega(i_d)$ - крива 2).

3.6.2 Побудова статичної характеристики замкнутої системи

ТП-Д

1) Регулювання швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 2,8 об/хв.

Для П-регулятора швидкості електромеханічна статична характеристика будується за формулою :

$$\omega = \frac{U_{зи}}{K_c} - \frac{I_{дш} \cdot R_e}{C_{д1}} \cdot \frac{2 \cdot T_{\mu,пш}}{T_M^!} = \omega_{он} - \frac{I_d \cdot R_e}{C_{д1}} \cdot \frac{2 \cdot T_{\mu,пш}}{T_M^!},$$

де $T_M^! = J_{np} \cdot \frac{R_e}{C_{д1}^2} = 64 \cdot \frac{79,2 \cdot 10^{-3}}{9,33^2} = 0,0582 \text{ с}$ – електромеханічна постійна часу ;

$T_{\mu,пш} = 0,02 \text{ с}$ – сумарна некомпенсована постійна часу контуру швидкості.

$$\omega = 47,2 - \frac{I_d \cdot 79,2 \cdot 10^{-3}}{9,33} \cdot \frac{2 \cdot 0,02}{0,0582} = 47,2 - 5,83 \cdot 10^{-3} \cdot I_d$$

Електромеханічна статична характеристика замкнутої системи ТП-Д показана на рис. 3.11 (крива 3)

2) Регулювання швидкості обертання робочого органа в проміжку від 0,2 до 5 об/хв.

$$T_M'' = J_{np} \cdot \frac{R_e}{C_{Д2}^2} = 64 \cdot \frac{79,2 \cdot 10^{-3}}{5,27^2} = 0,1825 \text{ с};$$

$$\omega = \omega_0 - \frac{I_d \cdot R_e}{C_{Д2}} \cdot \frac{2 \cdot T_{\mu.пу}}{T_M''} = 83,5 - 3,29 \cdot 10^{-3} \cdot I_d$$

Електро механічна статична характеристика замкнутої системи ТП-Д показана на рис.3.11 (крива 4).

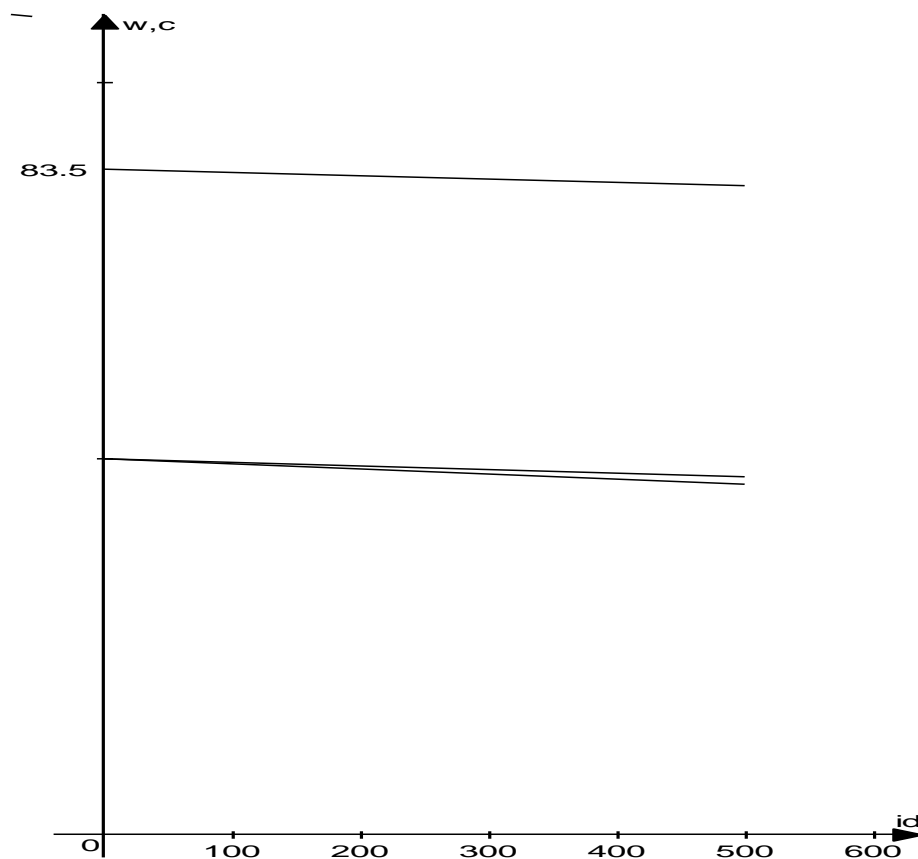


Рис.3.11 - статичні характеристики замкнутої системи ТП-Д

3.6.3. ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПІД ЧАС ВИПАДКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Узагальненням методу послідовної корекції Стосовно системам, у яких структурна модель представляється послідовним з'єднанням інерційних і інтегруючих ланок, є метод послідовної корекції з підлеглим регулюванням координат. цею метод синтезу є «Класичний» для систем управління автоматизоване електроприводом.

Основна ідея даного методу корекції Полягає в послідовному включенні регуляторів зі структурою інерційних ланок для компенсації постійних годині Першої групи, что дозволяє віключіті з моделі об'єкта, а значить и з розімкнутої часті системи ланки з великими постійнімі годині. Для усунення статічної помилки и Доданий системі астатічних властівостей в прямий контур регулювання що вводять інтегруюча ланка и забезпечують коефіцієнт передачі, Рівний одиниці.

Ідея компенсації великих постійних часу одним регулятором виявляється не реалізовується за наявності у об'єкта більше двох таких постійних, оскільки вже для компенсації двох постійних часу об'єкта з використання ПД-регулятора різко знижується перешкодозахищеність системи. Для реалізації ідеї використовують структуру багатоконтурного регулювання з вкладеннями - підлеглими контурами. При цьому в кожному внутрішньому контурі регулятор компенсує не більше двох

постійних часу. Налаштування регуляторів такої системи виконують незалежно в кожному контурі.

Як правило, регулятори струму здійснюють на модульний (Технічний оптимум). Бажана передавальна функція контуру струму, налаштованого на модульний оптимум, приймається виду:

де T_m - некомпенсированная мала постійна часу (зазвичай приймається рівній T_p).

Тоді регулятор струму буде пропорційно-інтегральним ланкою:

$$W_{pm}^{MO}(p) = \beta_{pm} \cdot \frac{T_s \cdot p + 1}{T_s \cdot p},$$

$$\text{где } \beta_{pm} = \frac{T_s \cdot R_s}{2 \cdot T_\mu \cdot K_{om} \cdot K_n}.$$

Для підвищення точності регулювання регулятор швидкості налаштовується на симетричний оптимум, якому відповідав би наступна передавальна функція:

$$W_{ж.кз}^{CO}(p) = \frac{8 \cdot T_\mu \cdot p + 1}{8 \cdot T_\mu \cdot p \cdot 4 \cdot T_\mu \cdot p (2 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}.$$

Тоді регулятор швидкості також буде пропорційноінтегральним ланкою::

$$W_{pc}^{CO}(p) = \beta_{fc} \cdot \frac{8 \cdot T_\mu \cdot p + 1}{8 \cdot T_\mu \cdot p}$$

$$\beta_{pc} = \frac{T_M \cdot K_{om}}{4 \cdot T_\mu \cdot R_s \cdot K_{oc} \cdot K_g} \cdot$$

Нижче представлена система управління автоматизованим

електроприводом, налаштована за принципом підлеглого регулювання.

Контур струму налаштований на модульний оптимум, контур швидкості - на симетричний.

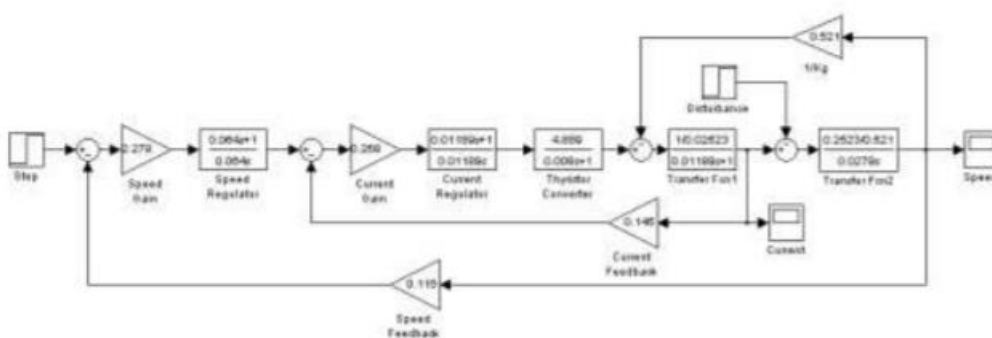


Рис 3.12 САР швидкості з підлеглим регулюванням

Налаштування контура швидкості на модульний оптимум дозволила б досягти найкращих перехідних характеристик, однак, в цьому випадку система стала б статичною і, отже, при подачі обурення з'являлася б статична помилка.

Як було сказано вище, необхідність введення двох регуляторів

пов'язана з неможливістю компенсувати одним регулятором більше двох постійних часу.

На рис.2 представлена система управління електроприводом з нечітким

регулятором, який використовує як інформації для управління вихідний сигнал системи і його похідну. З виходу нечіткого регулятора сигнал надходить на інтегратор і далі - на тиристорний перетворювач. Т.ч. вихідним сигналом нечіткого регулятора є інформація про те, в якому напрямку і на скільки слід змінити сигнал управління.

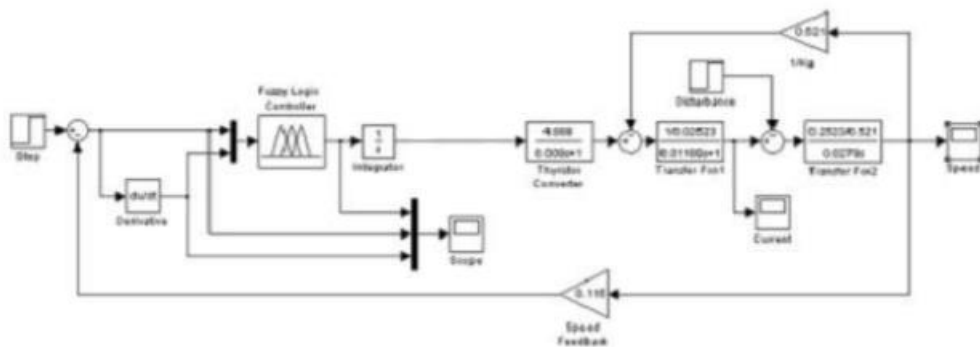


Рис. 2. «Нечітка система управління швидкістю ДПТ НВ»

Побудований нечіткий регулятор складається з двох входів і одного виходу.

Лінгвістично базовий закон управління, здійснюваний нечітким

регулятором, може бути сформульовано таким чином. необхідно

допомогтися, щоб помилка регулювання стала дорівнює нулю, і зафіксувати на

вході об'єкта управління то значення, при якому досягається ця умова.

Основним змістовним компонентом блоку нечіткого виведення

є база знань НЛР, яка будується виходячи з мети застосування НЛР.

Тому експертом вводяться знання про систему у вигляді сукупності нечітких продукційних правил.

База знань нечіткого регулятора, представленого на рис.2, матиме

такий вигляд:

1. Якщо «помилка» є PB, тоді «управління» є PB;
2. Якщо «помилка» є NB, тоді «управління» є NB;
3. Якщо «помилка» є PS, тоді «управління» є PS;
4. Якщо «помилка» є NS, тоді «управління» є NS;
5. Якщо «помилка» є ZE і «похідна» є PS, тоді «управління»
є PS;
6. Якщо «помилка» є ZE і «похідна» є NS, тоді «управління»
є NS;
7. Якщо «помилка» є ZE, тоді «управління» є ZE

Необхідною вимогою до бази знань нечіткого регулятора є повнота використовуваних правил:

$$X = \bigcup_{i=1}^n \text{Supp } A_i$$

де $\text{Supp } A_i$ -носій нечіткої множини A_i

.

Це означає, що для кожного поточного стану x процесу існує

хоча б одне керуюче правило, посилка якого має ненульову

ступінь приналежності для x . Для даної системи відсутні правила, що містять

анцендент з нульовим ступенем приналежності отже, можна зробити

висновок про повноту правил управління.

Несуперечливість системи керуючих правил зазвичай трактується як відсутність правил, що мають подібні посилки і різні або взаємовиключні сліdstва.

Ступінь несуперечності j-го и k-го правил можна задати величиною:

$$C_{jk} = |\bigcup_{E_1} (\mu_{A_j^i}(\varepsilon_1) \wedge \mu_{A_k^i}(\varepsilon_1))|$$

Підсумовуючи по k, отримуємо оцінку несуперечності j-го правила в системі:

$$C_j = \sum_{k=1}^n C_{jk}, 1 < j < 5$$

Виходячи з цього, можна судити про несуперечності системи керуючих правил [2].

Засобом, що дозволяє зв'язати будь-яку фізичну величину з jakimлибo безліччю, якісно характеризує її значення, є

лінгвістична змінна. Введемо дві лінгвістичні змінні

«Помилка» (e) і «похідна» (de / dt). Для крайнього лівого терма обох

вхідних змінних призначимо z-подібну функцію приналежності, для

крайнього правого - s-образну. Для всіх внутрішніх термів вхідних

змінних, призначимо трикутні функції приналежності. З огляду на, що до виду перехідної характеристики системи не

пред'являються спеціальні вимоги, для зниження алгоритмічної

складності бази знань нечіткого контролера базове терм-множина

вхідних лінгвістичних змінних обмежимо на рівні п'яти.

Кількісні характеристики функцій приналежності визначимо в

Залежно від діапазону зміни помилки системи і її похідної, для

яких будуються функції належності відповідних термів. вони можуть бути отримані або з експериментальних даних, або в результаті

імітаційного моделювання.

В роботі діапазони вхідних змінних отримані за результатами

моделювання системи підлеглого регулювання. для входу

лінгвістичної змінної «помилка» діапазон зміни прийнятий $[-1, 1]$, вид

термів для лінгвістичної змінної «помилка» представлено на малюнку.

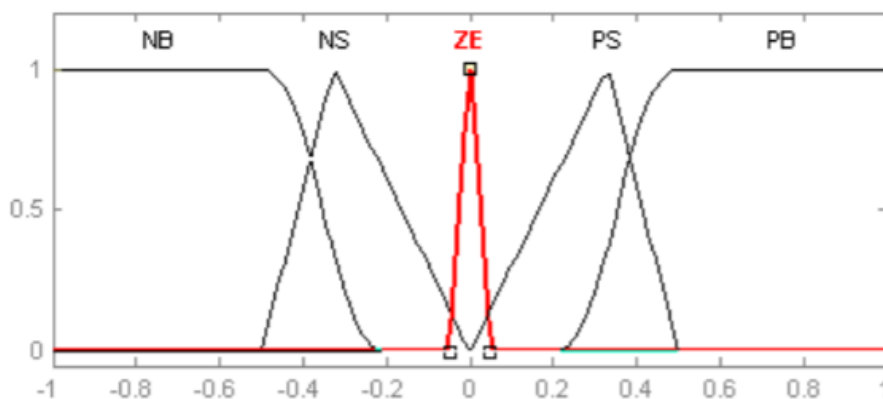


Рис. 3. «Функції приналежності вхідної змінної» помилка »

Сигнал на другий вхід НЛР надходить через коефіцієнт посилення,

який пропорційно зменшує сигнал до діапазону $[-1, 1]$. Тому для

входу лінгвістичної змінної «похідна» діапазон зміни прийнятий

$[-1, 1]$. Вид термів для лінгвістичної змінної «похідна»

представлений на малюнку.

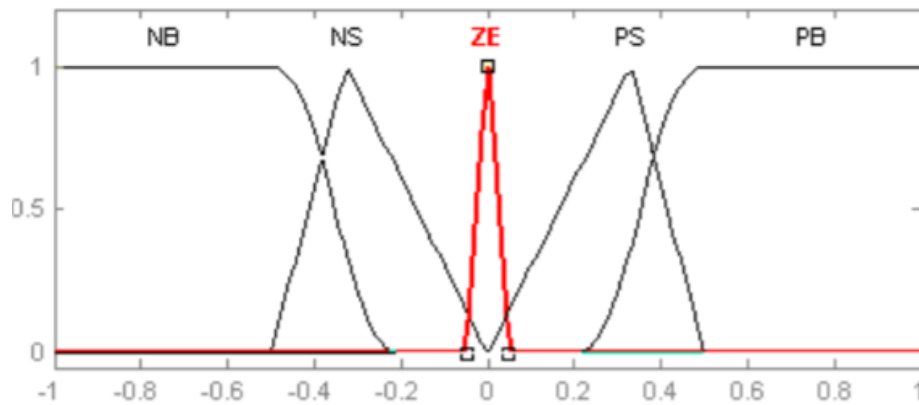


Рис. 4. «Функції приналежності вхідної змінної» похідна »

Для виходу регулятора діапазон зміни параметрів керуючого впливу прийнятий $[-20, 20]$. Функції приналежності для лінгвістичної змінної «управління» представлені нижче:

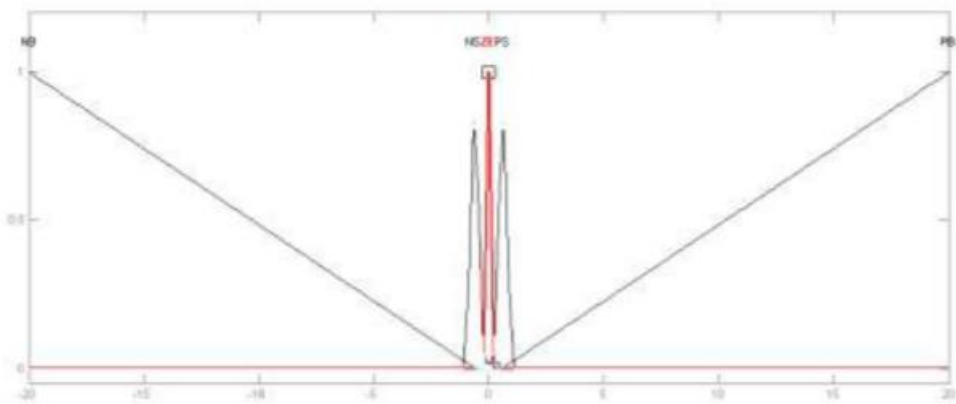


Рис. 5. «Функції належності вихідної змінної» управління »

При реалізації нечіткого регулятора за алгоритмом виведення Сугено використовувалися аналогічні вхідні змінні і база знань

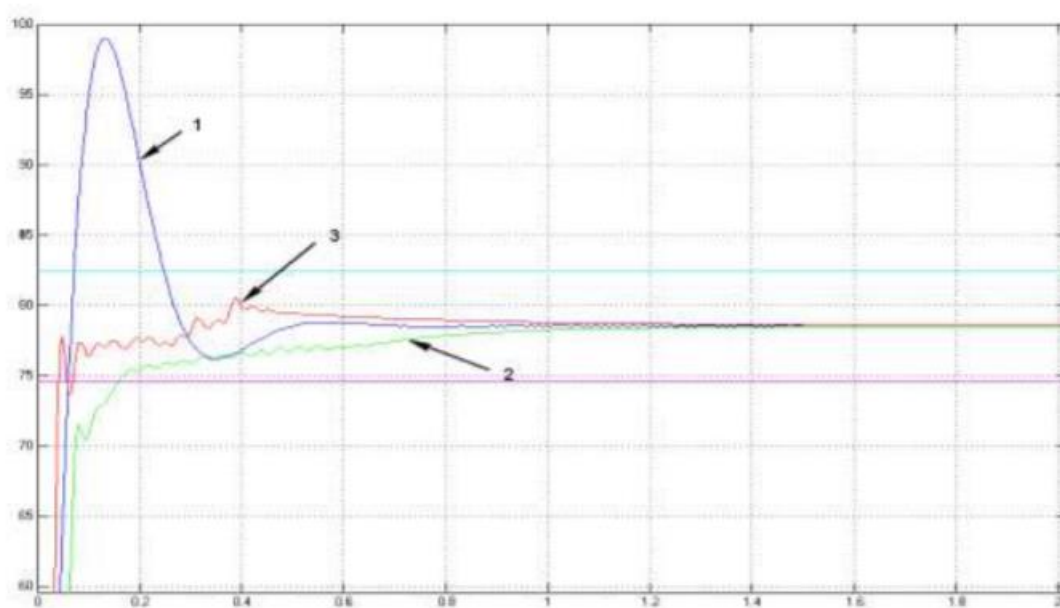
Для виходу регулятора діапазон зміни параметрів керуючого впливу прийнятий $[-20, 20]$. Функції приналежності керуючого

дії наведено нижче

$PB = 20$; $PS = 0,6$; $ZE = 0$; $NS = -0,6$; $NB = -20$.

порівняння результатів

Розглянемо спільно характеристики всіх трьох систем. Одною з основних характеристик систем автоматичного управління є час перехідного процесу і перерегулювання. На рис.6 видно перерегулювання «Класичної» системи близько 25%, а час перехідного процесу перевищує $t_{пп} > 0,2$ с. У той час як системи з нечітким регулятором НЕ виходять за межі відсоткової зони і мають $t_{пп} < 0,2$ с.

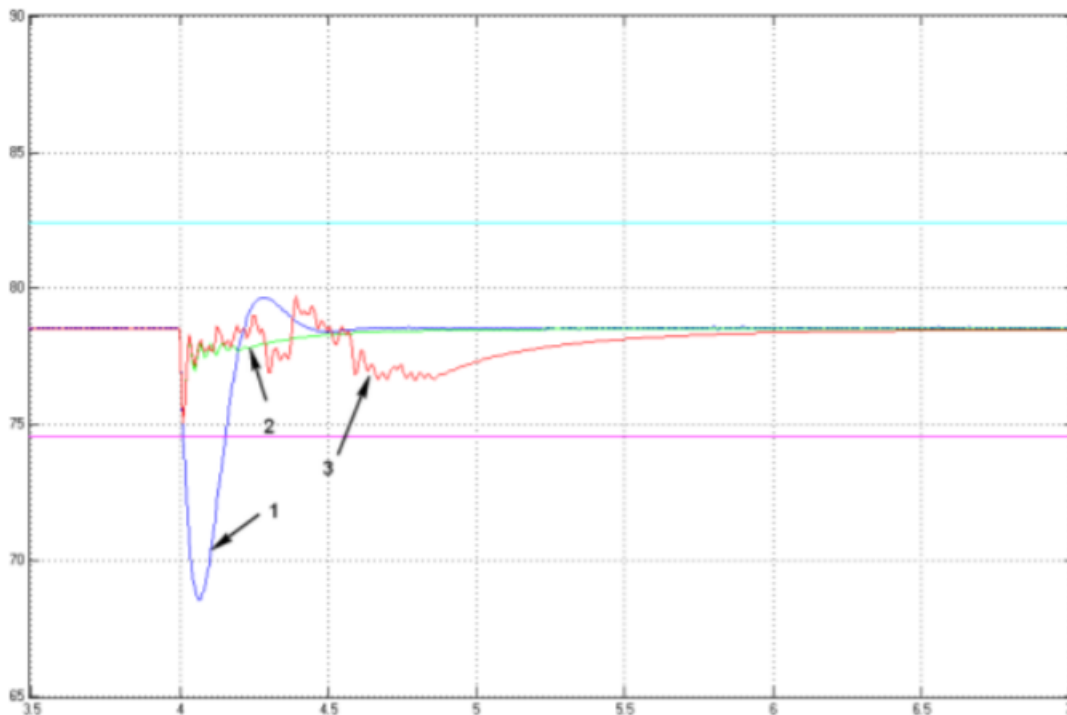


1 - «Класика»; 2 - Мамдані; 3 - Сугено

Рис. 6. «Перехідний процес всіх трьох систем за швидкістю»

При подачі обурення у вигляді статичного моменту на валу двигуна обидві нечіткі системи залишаються в п'ятипроцентній зоні, на відміну від

класичної (рис.7). Однак у системи Сугено спостерігаються тривалі коливання перед виходом на номінальне значення.



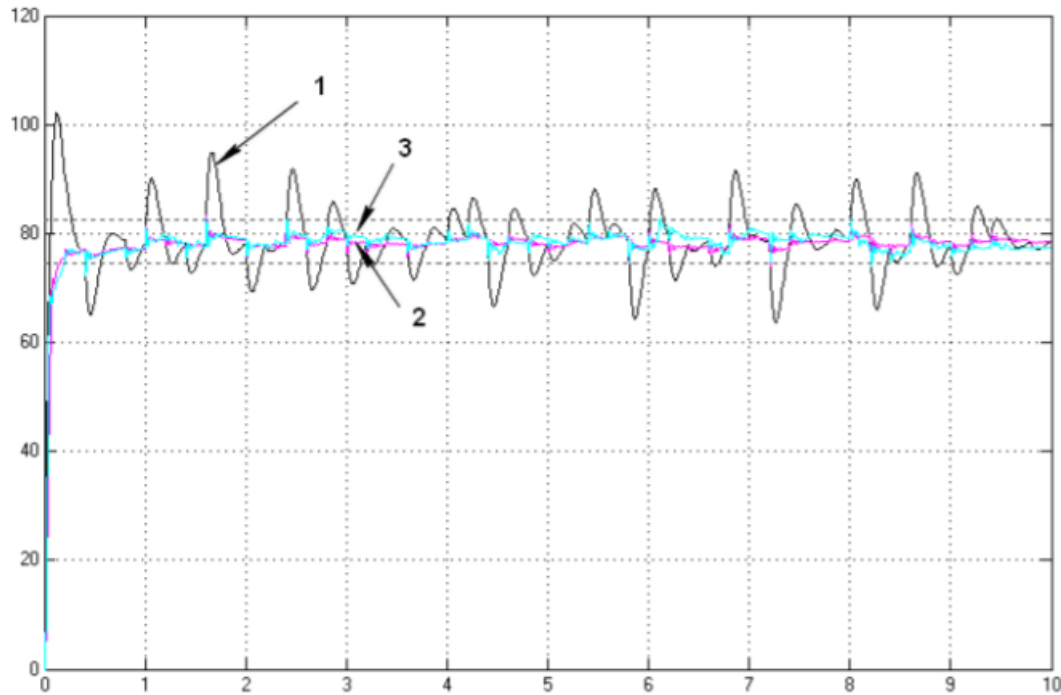
1 - «Класика»; 2 - Мамдані; 3 - Сугено

Рис. 7. «Реакція на обурення всіх трьох систем»

Необхідно визначити, що поведінка системи при практичному застосуванні досить сильно відрізняється від поведінки її моделі. Перевірка т.зв. «Білим шумом» дозволяє перевірити здатність системи реагувати на змінюються умови середовища і стохастичний їх характер.

Як видно з рис.9 «класична» система не здатна адекватно працювати в умовах невизначеності, її відхилення від заданого значення порівняно з перерегулюванням, що неприйнятно після виходу на сталий режим. Це пов'язано з припущенням про її лінійності при

розрахунку регуляторів. Навпаки, при проектуванні нечіткої системи управління вихідними даними є інформація про способи і цілі управління в незалежності від внутрішнього устрою об'єкта управління.



1 - «Класика»; 2 - Мамдані; 3 - Сугено

Рис. 9. «Реакція систем на« білий шум »

На підставі наведених графіків можна зробити висновок, що найкращі результати є у системи Мамдані: при досить малому часу регулювання, вона краще за інших систем відпрацьовує рівноваги вплив, при цьому скачки струму мінімальні. Система Сугено володіє найменшому часом регулювання. Однак її недоліками є наявність коливань при наближенні до заданого значення і великий, хоч і короткочасний стрибок струму на початку

перехідного процесу. Коливання системи Сугено пояснюються тим, що була використаний алгоритм Сугено нульового порядку.

Крім того, системи з нечітким контролером більш стійкі до «білого шуму»: вони залишаються в п'ятипроцентної зоні, на відміну від класичної. Таким чином обидві нечіткі системи перевершують «класичну» систему управління.

3.7 Визначення електроенергетичних показників

Визначення ККД електродвигуна

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тп}} \cdot \eta_{\text{дв}}^2 \cdot \eta_{\text{р}} = 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,91^2 \cdot 0,96 = 0,73$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансформатора;

$\eta_{\text{тп}}$ – ККД тиристорного перетворювача;

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна;

$\eta_{\text{р}}$ – ККД редуктора.

Визначення коефіцієнта потужності

$$K_M = \nu \cdot \left(\cos \alpha + \frac{I_{d.c.p} \cdot X_d}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2HT} \cdot \sin \frac{\pi}{m}} \right),$$

де $\nu = (0,0995 \div 1,0)$ – коефіцієнт спотворення потужності;

$m=6$ – число фаз випрямлення ;

$U_{2HT}=400$ В – вторинна напруга трансформатора;

$X_d=X_{tr}=12,5$ мОм – комутуюча індуктивність;

$I_{d,cp}=405$ А – середній випрямлений струм.

$$K_{M,max} = 0,0995 \cdot \left(\cos 10^0 + \frac{405 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 400 \cdot \sin \frac{\pi}{6}} \right) = 0,989$$

$$K_{M,min} = 0,0997 \cdot \left(\cos 170^0 + \frac{405 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 400 \cdot \sin \frac{\pi}{6}} \right) = 0,973$$

Вживана потужність системи

$$P_B = \frac{P}{\eta_{дв}^2} = \frac{320}{0,828} = 386 \text{ кВт}$$

Використання електроенергії за рік :

$$W = K_x \cdot P_{\Pi} \cdot T = 1,05 \cdot 386 \cdot 2400 = 972720 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $T=2400$ – число годин роботи привода в год.;

$K_x=1,05$ – коефіцієнт втрат електроенергії.

4. СТАРТАП-ПРОЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА MIKROEL MS 585 ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.

4.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту

Розглянемо цілі цього стартап-проекту та основні принципи його етапів, як показано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження необхідних характеристик та суперечностей діючих продуктів, технічних дефектів-моделювання конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Подолання певних суперечностей поточних виробників та досягнення кращих показників прокладання тунелів
Етап аналізу конкурентного середовища	Визначте можливих конкурентів-виробників, які виробляють подібні системи автоматизації або постачають подібні вироби, та порівняйте та проаналізуйте технічні та економічні переваги та недоліки запропонованої концепції
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості та ціни впровадження мікроконтроллера

Маркетинговий етап реалізації проекту	Підтвердьте канали збуту комбінованої енергосистеми, залучіть потенційних покупців та сформууйте остаточну переконливу силу
---------------------------------------	---

4.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Ідеєю даного стартап-проекту є використання мікроконтролера MIKROEL MS 585.

Управління та регулювання параметрів двигунів постійного струму.

Ідея цієї роботи полягає в тому, що завдяки реалізації енергозберігаючої електроприводної системи та системи управління щитом тунелю можна досягти точності тунелю на даному маршрутному щитовому тунельному комплексі

Перевагами даного мікроконтролера MS 585 є:

- Інтерфейс для налаштування і значень датчиків в послідовних меню на LCD- TFT дисплеї
- Вибір режиму роботи (автоматичний, постійний, віддалений)
- Звіти про помилки та події, а також перегляд історії останніх 200 помилок та подій
- Короткочасний збій живлення або короткочасне перевантаження викликає функцію перезапуску компресора
- Формування температури двигуна та рівня струму двигуна

4.3 Аналіз конкурентного середовища

Сьогодні існує безліч виробників електронних компонентів, включаючи мікроконтролери. Усі ці виробники мають схожі цілі, але різні характерні контролери. Основними вимогами контролера є: напруга джерела живлення, ємність пам'яті, джерело живлення, тому, щоб більш детально зрозуміти різницю між мікроконтролером, що використовується для реалізації, та

подібними системами від конкурентів, ми зробимо порівняння технічних та економічних характеристик таблиця. (таблиця5.2). Перевагу віддаємо мікроконтролера MIKROEL MS 585.

Таблиця 4.2 Переваги продукту

	MS 585	PFC200 Wago 750
Напруга живлення	24В, 50 Гц	24В, 50 Гц
Потужність	10 Вт	7 Вт
Об'єм пам'яті	192 кб	112 кб
Входи	Аналогові Pt1000, (0-10)В, (4-20)мА або дискретні з внутрішнім джерелом живлення, не більше 5Гц,	Аналогові Pt1000, (0-10)В, (4-15)мА або дискретні з внутрішнім джерелом живлення, не більше 3Гц,
Виходи	Аналогові (0-10)В, опір завантаження не менш 20 кОм	Аналогові

Інтерфейси	RS-485 (протоколи MODBUS-RTU або UNIVERS)	DHCP
	TP/FT-10 (протокол LonWorks)	FTP
	Enternet (MODBUS-TCP)	

Web-сервер	Працює при наявності в контролері Flash-карти формату SD і статичної IP-адреси	
Тип дисплею	Графічний кольоровий	Немає
Тип клавіатури	Сенсорна	Немає

З вищевказаних характеристик видно, що мікроконтролер MIKROEL MS 585 має переваги перед конкуруючими моделями як в технічному, так і в економічному плані.

Одночасно під час реалізації стартового проекту ми проведемо SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей стартового проекту, щоб визначити переваги та недоліки, а також його функції та загрози.

Адже ринок зростає і розвивається, тому з'явилися нові конкуренти.

- До потенційних внутрішніх переваг (переваг) належать: іноваційність;
- жорсткий конкурент на ринку;
- зростання чисельності споживачів;
- вища за середню обізнаність про стан ринку;
- концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку;
- увага до зниження витрат;

До потенційно внутрішніх недоліків (слабкі сторони) можна віднести:

- відсутність досконалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу;
- постійні атаки з боку ключових конкурентів;
- брак фінансових ресурсів;
- розміри виробництва та застосування надто малі, щоб впливати на ринкову ситуацію;

До потенційних зовнішніх можливостей можна віднести:

- різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день;
- доступність інвестицій та кредитів;
- входження в нові ринки;
- розширення виробництва для задоволення потреб споживачів;

До потенційних зовнішніх загроз відносяться:

- велика ймовірність виникнення нових конкурентів, зокрема іноземних;
- зростання збуту товарів-замінників;
- зростання тиску конкурентів;

Одночасно під час реалізації стартового проекту ми проведемо SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей стартового проекту, щоб визначити переваги та недоліки, а також його функції та загрози.

Адже ринок зростає і розвивається, тому з'явилися нові конкуренти.

- Потенційні внутрішні переваги (переваги) включають: іноваційність;
- жорсткий конкурент на ринку;
- зростання чисельності споживачів;
- вища за середню обізнаність про стан ринку;
- концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку;
- увага до зниження витрат;

До потенційно внутрішніх недоліків (слабкі сторони) можна віднести:

- відсутність досконалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу;
- постійні атаки з боку ключових конкурентів;
- брак фінансових ресурсів;
- розміри виробництва та застосування надто малі, щоб впливати на ринкову ситуацію;

До потенційних зовнішніх можливостей можна віднести:

- різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день;
- доступність інвестицій та кредитів;

- входження в нові ринки;
- розширення виробництва для задоволення потреб споживачів;

До потенційних зовнішніх загроз відносяться:

- велика ймовірність виникнення нових конкурентів, зокрема іноземних;
- зростання збуту товарів-замінників;
- зростання тиску конкурентів;

Результати SWOT-аналізу даного стартап-проекту узагальним у відповідній матриці (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 Матриця SWOT-аналізу

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> 1. Унікальність. 2. Інноваційність. 3. Жорсткий конкурент на ринку. 4. Особлива стратегія наступу. 5. Сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів. 6. Вища за середню обізнаність про стан ринку. 7. Концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку. 8. Увага до зниження витрат. 9. Вищі за середні маркетингові навички. 10. Компетентність у даній сфері. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність досконалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу. 2. Постійні атаки з боку ключових конкурентів. 3. Нижчі за середні темпи зростання; 4. Брак фінансових ресурсів.

О (opportunities) – Можливості	Т (threats) – Загрози
<ol style="list-style-type: none"> 1. Різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день. 2. Доступність інвестицій та кредитів. 3. Обслуговування додаткових груп споживачів, а саме приватних підприємців. 4. Входження в нові ринки. 5. Розширення виробництва для задоволення потреб споживачів. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Велика ймовірність виникнення нових конкурентів. 2. Зростання тиску конкурентів.

4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Стартовий проект спрямований на встановлення та програмування мікроконтролера MIKROEL MS 585 для управління та регулювання параметрів тунелю. Проект має дві статті інвестицій: прямі матеріальні витрати та інші прямі витрати.

Прямі матеріальні витрати включають:

- Окрім повернутих відходів, вартість сировини та матеріалів;
- Вартість частки;

Інші прямі витрати включають:

- Витрати на рекламу;
- прямі інші витрати.

Загальний обсяг інвестицій на реалізацію стартап-проекту становить 117256 тис. Грн. У наступній таблиці перераховані всі детальні витрати на кожну статтю 4. 4.

Таблиця 4.4 Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту

Статті капіталовкладень	Величина, тис. грн.
Прямі матеріальні затрати	
• витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів	26500
• витрати комплектуючих виробів	52500
• оплата заводу	37500
Інші прямі витрати:	
• витрати на рекламу, оренду	156
- прямі інші витрати	600
Всього капіталовкладень на реалізацію проекту	117256

Мета даного проекту досягається за допомогою двох видів діяльності, а саме реалізації та встановлення, (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Встановлення	Встановлення та програмування мікроконтролера	Програмування
Реалізація	Впровадження мікроконтролера MIKROEL MS 585	Продаж контролерів замовнику

4.5 Прямі матеріальні витрати

Обґрунтуємо прямі матеріальні витрати на одиницю продукції – витрати на сировину, матеріали, комплектуючі

Обрахунок місячних потреб на витрати розраховуємо по формулі:

$$V = X * Y * N_m ,$$

де X-ціна за одиницю ресурсу,

Y – кількість ресурсу,

N_m- кількість робочих днів у місяці (22 дня).

Обрахунок річних потреб на витрати розраховуємо по формулі:

$$V_r = X * Y * N_r ,$$

де X-ціна за одиницю ресурсу,

Y – кількість ресурсу,

N_r - кількість робочих днів у році (250 днів).

Всі відповідні розрахунки заносимо до таблиці 4.6.

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1.	Витрати сировини й матеріалів	Тис.грн.	10,5	10	231	26 500
2	Витрати на комплектуючі вироби	Тис.грн.	21,0	10	4620	52 500
3	Витрати на обладнання для монтажу	Тис.грн.	15	10	3300	37 500
Всього:					8 151	116 500

4.6 Інші прямі витрати

До інших прямих витрат відносяться :

- реклама 2000 грн);
- оренда складу під готову продукцію (8000 грн);
- резервні кошти на форс-мажорні обставини (53 000 грн).

Оскільки плата за послугу фіксована протягом терміну дії угоди (1 рік), річна плата обчислюється множенням плати за послугу на кількість місяців (12 місяців). Введіть результат розрахунку в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7. Обґрунтування прямих інших витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Реклама	Угода	2 000	24 000
2.Оренда складу	Угода	8000	96000
3. Інші прямі витрати	Резервні	53000	636000
Всього:		63000	7560000

4.8 Розрахунок собівартості та рентабельності товару

Оскільки умовно-змінні витрати та умовно-постійні витрати збігаються з прямими матеріальними витратами та іншими прямими витратами, ми компенсуємо собівартість товару (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 Обґрунтування собівартості товару , грн.

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн		
		на одиницю	на місяць	на рік
1.Умовно-змінні витрати	табл.5. 9	46,5	8 151	116 500
2. Умовно-постійні (накладні) витрати	табл.5.10	6,3	63	756

3. Собівартість	стр.1+стр.2	52,8	8 214	117 256
-----------------	-------------	------	-------	------------

Необхідний прибуток – це сума витрат на ФРВ, ФСР, ПФ, грошові виплати засновнику та податок на прибуток.

Прибуток у відсотковому відношенні розподілено наступним чином:

- фонд розвитку виробництва (ФРВ) – 50%;
- фонд соціального розвитку (ФСР) – 25%;
- преміальний фонд (ПФ) – 10%;
- дивіденди засновникам – 15%.

Всі обґрунтування відносно рентабельності занесені до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 Обґрунтування рівня рентабельності товару

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників.
1. Собівартість одиниці продукції	табл. 5.11	тис.грн.	52,8
Обсяг виробництва в рік	Прогноз	шт.	5
2. Необхідний прибуток	пп.2,1+2,2+2,3+2,4+2,5	тис.грн	109986
2.1. Засоби ФРВ	Колективна угода	тис.грн	54993
2.2. Засоби ФСР	Колективна угода	тис.грн	27496,5
2.3. Засоби ПФ	Колективна угода	тис.грн	10998,6
2.4. Податок на прибуток	$(2.1+2.2+2.3+2.4)*0.18$	тис.грн	19797,48

3.	Рівень рентабельності продукції	п.2 / п.1*100%	%	28%
----	---------------------------------	----------------	---	------------

Щодо норми прибутку та собівартості одиниці продукту, розраховується «нормальний» одиничний прибуток. Згідно з формулою в таблиці, сума витрат дає собівартість виробництва одиниці товару.

Ціна реалізації товару - це сума собівартості одиниці продукції та податку на додану вартість щодо кількості.

Таблиця 4.10 Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість одиниці товару	табл. 5.8	тис.грн.	52,8
2. Норма рентабельності	табл. 12	%	28
3. «Нормальний» питомий прибуток	п.1 * п.2 / 100%	грн.	1978
4. Вартість виробництва одиниці продукції	п.1 + п.3	тис.грн.	2030,8
5. ПДВ	п.4*0,2	тис.грн	406,16
6. Відпускна ціна товару	п.4+п.5	тис.грн	2436,96

Розрахункова відпускна ціна товару складає 2436,96 грн, приймаємо за встановлену ринкову ціну 2436,96 грн за одиницю товару.

4.9 Канали збуту

Канал збуту цього продукту - підрядник, який займається будівництвом комплексних тепличних господарств. Інформація буде передана їм через рекламу із виділеними коштами.

4.10 Бізнес-модель проекту

Структурна бізнес-модель даного стартап-проекту наведена в таблиці 5.11.

Таблиця 4.11 Структура бізнес моделі

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Цінність пропозиції	Споживчі сегменти
<p>Фірма Lovat</p> <p>Herrenknecht AG</p>	<p>1.Закупка та надання сировини та комплектуючих матеріалів виробництву на виготовлення датчиків ATF2020.</p> <p>2. Просування та реалізація товару на ринку за допомогою реклами та маркетингу.</p>	<p>Інноваційність.</p> <p>Економія грошових ресурсів раціональним зменшенням використання теплової енергії.</p>	<p>Особливий споживацький сегмент:</p> <p>Використання прохідницького щита для виготовлення тунелів</p>
	<p>Ключові ресурси</p> <p>1.Матеріальні ресурси (оренда приміщення, сировина та комплектуючі матеріали).</p>		<p>Канали збуту</p> <p>Будівельні фірмам, замовникам Реклама, журнали</p>

	<p>2.Інтелектуальні ресурси(створення реклами, патентів, статей).</p> <p>3. Людські ресурси (кваліфіковані менеджери, інженери та робітники).</p> <p>4.Фінансові ресурси(кошти інвестора, кошти з продажів).</p>		<p>автоматизації, отримання грантів на написання рекламних статей.</p>
<p>Структура собівартості</p> <p>1.Витрати разові(капітальні): 117256грн</p> <p>2.Витрати постійні: 756000грн</p> <p>3.Витрати змінні: 116 500грн</p>		<p>Потоки надходження доходу</p> <p>Продаж продукції</p>	

4.11 Термін окупності стартап-проекту та висновки

Чим швидше повертається інвестиція, тим менший вплив на них має інфляція!
Ніколи не забувайте про цей основний ринковий закон.

Тому, щоб оцінити доцільність інвестування в цей стартап-проект, ми використовуємо таку формулу для визначення періоду окупності: $T = IC/P$, де T – термін окупності;

IC – початкова інвестиція у даний проект;

P – очікуваний щорічний прибуток , що планується.

$$T = 127255/86548 = 1,21 \text{ р.}$$

Період повної окупності даного стартап-проекту з урахуванням початкової інвестиції у розмірі 127255 грн складає 1 рік та 4 місяці.

Висновки

Впроваджуючи енергозберігаючу систему електроприводу та систему управління тунельним екраном, можна досягти точності панельного тунельного комплексу через тунель.

Існує можливість комерціалізації проекту - у разі жорсткої конкуренції на ринку мікроконтролерів ціни впадуть, а виробничі витрати впадуть.

Галузі потрібні надійні системи для використання мікроконтролерів, а це означає, що попит на продукцію буде зростати. У табл. 4.12 підводяться підсумки підготовки інноваційного стартапу та узагальнюються основні техніко-економічні показники.

Таблиця 4.12 – Узагальнюючі техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції, од.	5
Капіталовкладення, тис. грн.	117
Собівартість продукції, тис. грн.	52,8
Ціна продукту, тис. грн	2436,96
Прибуток, тис. грн.	8703, 42
Рентабельність, %	28%
Період повернення капіталовкладень, років	1.4

ВИСНОВКИ

Збільшення продуктивності прохідницького щита тунелепрохідницького комплексу може бути досягнуто застосуванням раціональних режимів роботи регульованого електроприводу, удосконаленням бурового інструменту і конструкції самого комплексу. Виходячи з результатів аналізу методів зниження енергоспоживання, вибрано метод регулювання частоти обертання робочого органу прохідницького щита. Наведена система з підпорядкованим регулюванням є достатньо ефективною та забезпечує необхідну якість регулювання. Застосування регульованого електропривода за схемою ШПД дозволяє значно підвищити енергоефективність роботи прохідницького щита тунелепрохідницького комплексу, зменшити витрати бурового інструменту та поліпшити умови праці

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Будников В.Б. Система управління щитом тоннелепроходческого комплекса// Материалы шестой всероссийской научно-практической конференции «Системы управления электротехническими объектами». - Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. - С. 216-220.

В.Б. Терехин Моделирование систем электропривода в SIMULINK (MATLAB 7.0.1) Томский политехнический университет 2008

Сидорчук Б.П., Гудь В.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Моделювання систем автоматизації»- Рівне НУВГП, 2013-50с

Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» зі змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства України від 11.12.2006 р. № 1176.

Круш П.В. Ціноутворення : підручник / П.В. Круш, О.І. Андрусь. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 292 с.

Податковий кодекс України. Закон № 2755-VI від 02.12.2010 «Голос України» № 229-230 від 04. 12. 2010.

Економіка підприємства: Книга 1. [підручник для студентів вищих навч. закладів]; за заг.ред. П.В. Круша, К.В. Шелехова. – К.: ДП «НВЦ Пріоритети», 2014. -676 с.

Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу // Сучасні проблеми економіки і підприємництва [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С.94-101(Міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, SIS).

Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві / Шевчук Н.А. / Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120 –річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ», м. Київ, 17-18 травня 2018 р.– К.: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 89-90.

Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по разделу “Электропривод машин и установок горных предприятий.” Сост. Н.А. Полянский, Н.Г. Борисюк, В.С. Лисовский и др. – К.: НТУУ “КПИ”, 1995 – 92с.

Ключев В.И., Терехов В.М. “Электропривод и автоматизация общепромышленных установок”: Учебник для ВУЗов. – М.: Энергия, 1980 – 260с.

Чермалых В.М., Родькин Д.И., Каневский В.В. “Системы электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок”. – М.; Недра, 1976 – 398с.

Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І., Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор.- 2005. – 408с.

Справочник по электроснабжению промышленных предприятий:
Электрооборудование и автоматизация / Сост.: Т. В. Анчарова, В. В. Каменева,
Г. В. Сербиновского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат.- 1981. –
624с., ил.

www.kpds.kiev.ua

www.cih.ru

www.stroy-technics.ru

Алиев И.И. Электротехнический справочник. – 4-е изд., испр. – М.:
РадиоСофт.- 2001. – 384 с.

Чермалих О.В., Тишевич Б.Л., Данілін О.В. Методичні вказівки до
виконання курсових та дипломних проектів „Розрахунок та комп’ютерне
моделювання систем автоматизованого електропривода”, К.: Політехніка.-
2004-60с.

Моделювання електромеханічних процесів і систем: Навч. Посіб./ Данілін
О.В., Чермалих В.М., Розен В.П. – К.: НТУУ «КПІ».- 2007, - 52 с.

Научно-технический журнал «CHIP NEWS Україна» / Инженерная
микроэлектроника №7.- 2005г

Москаленко В.В. Электрический привод.- М.: Высш. шк., 1991.-430с.

В. Козаченко Основные тенденции развития встроенных систем
управления двигателями и требования к микроконтроллерам /ChipNews. -1999г.
- №1.

Володькіна М.В. Економіка промислового підприємства: Навч.посібник –
К.: Центр навчальної літератури.-2004.-196с.

К.Н.Ткачук, М.О.Халимовський Основи охорони праці: підручник, К.:
Основа.-2003

www.stroinauka.ru

www.supr-mis.ru

www.metro.ru

В.Ц.Жидецький Основи охорони праці, Львів: Афіша.-2002.

В.Ц.Жидецький, В.С.Джигерей, В.М.Сторожук Практикум з охорони праці, Львів: Афіша.-2000.

ДБН В.2.5 – 28 – 2006 Естественное и искусственное освещение

ДСН 3.3.6.037 – 99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

Правила устройства электроустановок – М.: Энергопромиздат.- 1987, - 248 с.

ДНАОП 000-1.21 – 98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Блок В.М., Обушев Г.К., Паперно Л.Б. и др. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей. – М.: Высш. шк., 1990. – 383 с.

Малиновский А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. – 277 с.

Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елесеєва и А.В. Шинявского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

Справочник по электромашинам: В 2 т. / Под ред. И.П. Копирова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 576 с.

Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1972. – 440 с.

Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергия, 1981. – 376 с.

Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1981. – 376 с.

Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. – М.: Энергия, 1974. – 772 с.

Попович М.Г., Борисик М.Г. Теорія електроприводу. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.

Шудра В.Ф., Беличко А.Н. Как подготовить бизнес-план. – Киев, 1997. – 99 с.

Буров В.П., Ламакин А.П., Морошкин В.А. Бизнес-план фирмы. – М., 2000. – 175 с.

Бойчик І.Т., Харів М.С., Хопчан М.І., Піга Ю.В. Економіка підприємства. – Київ, Львів, 2002. – 292 с.

Держбуд України. Реформування, ціноутворення та взаємовідносини у будівництві. – НВФ "Інпроект", Київ, 2001. – 431 с.

1 Певзнер, Л. Д. Теорія систем управління / Л. Д. Певзнер. - М.:

Видавництво Московського державного гірничого університету, 2002. - 472с.

Соловійов, В. А. Штучний інтелект в задачах управління.

Інтелектуальні системи управління технологічними процесами / В. А.

Соловійов, С. П. Чёрний. - Комсомольськ-на-Амурі: ГОУВПО «КНАГТУ», 2006. - 74 с.

Леоненков, А. В. Нечітке моделювання в середовищі MATLAB і

fuzzyTECH / А. В. Леоненков. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.

Штовба, С. Д. Проектування нечітких систем засобами MATLAB /

С. Д. Штовба. - М. : Гаряча лінія - Телеком, 2007. - 288 с.